TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA GEDUNG PERKANTORAN 4 LANTAI DENGAN METODE *PUSHOVER ANALYSIS* (*PERFORMANCE ANALYSIS OF 4-FLOOR OFFICE BUILDING WITH PUSHOVER ANALYSIS METHOD*)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Pratisto Ganang Nugroho
19511009

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA GEDUNG PERKANTORAN 4 LANTAI DENGAN METODE PUSHOVER ANALYSIS (*PERFORMANCE ANALYSIS OF 4-FLOOR OFFICE BUILDING WITH PUSHOVER ANALYSIS METHOD*)

Disusun oleh

Pratisto Ganang Nugroho
19511009

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 22 Juni 2023

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I	Penguji I	Penguji II
3/7 2023	03/07/23	04/juli/2023
Jafar, S.T., M.T., MURP.	**Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.**	**Prof. Ir. H. Sarwidi, MSCE. P.Hd. IP-U.**
NIK: 185111305	**NIK: 185111304**	**NIK: 845110101**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN YOGYAKARTA

Yunalia Muntafi, S.T., M.T. Ph.D.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 22 Juni 2023

Yang membuat pernyataan,



Pratisto Ganang Nugroho

NIM. 19511009

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan hidayah, kesempatan, kenikmatan serta kemudahan terutama dalam menjalankan amanah dalam menyusun Tugas Akhir yang berjudul **"Analisis Kinerja Gedung Perkantoran 4 Lantai dengan Metode *Pushover Analysis*"** dapat diselesaikan. Shalawat dan salam senantiasa tercurah untuk teladan dan pemimpin kita tercinta, Nabi Muhammad SAW. Beserta para keluarganya, sahabatnya, hingga pengikut atau umatnya sampai akhir zaman. Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk mencapai jenjang strata satu (S1), pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Proses penyusunan ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak, baik dukungan spiritual maupun material. Maka dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Purtyasta Kunto Nugroho dan Ibu Banon Sri Kustinah yang telah mendoakan, memberikan dorongan, motivasi, kasih sayang dan semangat dalam menyelesaikan pendidikan S1.
2. Kakak dan adik, Prahesti Ninda Nugroho dan Prawestri Dinda Nugroho yang telah memberikan doa dan dukungan dalam menyelesaikan pendidikan S1. Semoga kakak diberikan kelancaran selalu dalam berprofesi dalam suatu perusahaan, dan adik diberikan kelancaran selalu dalam menempuh jenjang pendidikan S1 dan mencapai kesuksesan.
3. Jafar, S.T., M.T., MURP. sebagai dosen pembimbing, terima kasih telah memberikan dorongan, motivasi, dan bimbingannya serta kemudahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini mulai dari judul hingga filosofinya.
4. Seluruh dosen dan pengajar Program Studi Teknik Sipil UII yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya selama masa kuliah.

5. Orang istimewa, Siti Shavira yang telah memberikan doa, motivasi, dan dukungan dalam menyelesaikan pendidikan S1. Semoga kita selalu diberikan kemudahan dalam mencapai kesuksesan dan barokah-Nya.
6. Teman seperjuangan calon direktur, Harfat Rahmayuda dan Tabri Budi Darmawan yang telah memberikan dukungan dan kebersamaan sejak semester satu hingga seterusnya. Semoga kita semua selalu diberikan keberkahan dan kesuksesan.
7. Teman kost, Tegar Fadillah yang telah mendukung dan membantu memperoleh data penelitian Tugas Akhir ini.
8. Kepada teman-teman teknik sipil UII angkatan 2019, terima kasih atas segala kerja samanya ketika masih kuliah dan semoga silaturahmi kita tetap terjalin selalu.
9. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu diucapkan terima kasih sebesar-besarnya.

Disadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan oleh karena itu saran dan kritik yang sifatnya membangun diharapkan demi perbaikan proposal Tugas Akhir ini dan semoga proposal ini bermanfaat bagi penyusun dan semua pihak yang membutuhkan.

Yogyakarta, 22 Juni 2023

Penulis,

Pratisto Ganang Nugroho

NIM. 19511009

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xvi
ABSTRAK xix
ABSTRACT xx
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Lokasi Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Penelitian Tentang Kinerja Struktur Bangunan 7
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang 11
2.3 Keaslian Penelitian 17
BAB III LANDASAN TEORI 18
3.1 Gempa Bumi 18
3.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa 19
3.3 Teori Evaluasi Bangunan 20
3.4 Analisis Struktur Bangunan 20

3.5 Pembebanan Struktur 25
3.5.1 Beban Mati 25
3.5.2 Beban Hidup 27
3.5.3 Beban Gempa 28
3.5.4 Kombinasi Pembebanan 30
3.6 Ketentuan Umum Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI-1726-2019 30
3.7 Analisis Statik Non-Linier (*Pushover Analysis*) 45
3.8 Sendi Plastis 46
3.9 Kurva Kapasitas 49
3.10 Titik Kinerja (*Performance Point*) 53
3.11 Batasan Deformasi (*Drift*) Menurut ATC-40 54
3.12 Level Kinerja Struktur Metode ATC-40 55
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 58
4.1 Lokasi Penelitian 58
4.2 Pengumpulan Data 59
4.2.1 Gambar Kerja 59
4.2.2 Deskripsi Umum Bangunan 62
4.2.3 Deskripsi Umum Struktur 62
4.2.4 Mutu Bahan 62
4.2.5 Keadaan Tanah 63
4.3 Program dan *Software* yang Digunakan 63
4.4 Prosedur Penelitian 63
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 67
5.1 Permodelan Struktur 67
5.2 Permodelan Menggunakan *Section Designer* 69
5.2.1 Pemodelan Elemen Kolom 70
5.2.2 Pemodelan Elemen Balok 73
5.3 Perhitungan Pembebanan Struktur 76
5.3.1 Beban Mati 76
5.3.2 Beban Hidup 83
5.3.3 Beban Gempa 83

5.4 Analisis Beban Gempa 89
5.4.1 Masukkan Data Respon Spektrum 89
5.4.2 Mendefinisikan *Load Case Data* 91
5.4.3 Mendefinisikan *Mass Source* 92
5.4.4 Analisa Beban Gempa Statik 93
5.4.5 Analisa Beban Gempa Dinamik 95
5.4.6 Cek Syarat $V_{dinamik} > V_{statik}$ 96
5.5 Analisis *Pushover* 99
5.5.1 Pendefinisian *Load Case Pushover Analysis* 99
5.5.2 Pendefinisian Sendi Plastis (*Hinge*) 108
5.5.3 *Running Pushover Analysis* 116
5.6 Hasil *Pushover Analysis* 117
5.6.1 Kurva Kapasitas 117
5.6.2 *Performance Point* Metode *ATC-40* 121
5.6.3 Tingkat Kinerja Struktur 127
5.6.4 Skema Sendi Plastis 129
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 145
6.1 Kesimpulan 145
6.2 Saran 146
DAFTAR PUSTAKA 147
LAMPIRAN 149

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	12
Tabel 3.1	Berat Sendiri Bahan Bangunan	25
Tabel 3.2	Berat Sendiri Komponen Gedung	26
Tabel 3.3	Berat Hidup Pada Lantai Gedung	28
Tabel 3.4	Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	32
Tabel 3.5	Faktor Keutamaan Gempa	34
Tabel 3.6	Klasifikasi Situs	34
Tabel 3.7	Koefisien Situs, F_a	37
Tabel 3.8	Koefisien Situs, F_v	37
Tabel 3.9	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	39
Tabel 3.10	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	39
Tabel 3.11	Definisi Syarat Kategori Desain Seismik	40
Tabel 3.12	Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	42
Tabel 3.13	Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung	43
Tabel 3.14	Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan ^{X}	43
Tabel 3.15	Batasan Deformasi	54
Tabel 3.16	Kondisi Bangunan Pasca Gempa Berdasarkan Tingkat Kinerja	56
Tabel 5.1	Perhitungan Berat Balok	77
Tabel 5.2	Rekapitulasi Berat Balok	79
Tabel 5.3	Perhitungan Berat Kolom	79
Tabel 5.4	Rekapitulasi Berat Kolom	80
Tabel 5.5	Pehitungan Berat Pelat	80
Tabel 5.6	Rekapitulasi Berat Pelat	82
Tabel 5.7	Rekapitulasi Perhitungan Berat Manual	82

Tabel 5.8	Perhitungan Nilai Gaya Gempa Horizontal	89
Tabel 5.9	Data Kurva Kapasitas *PUSHOVER X*	119
Tabel 5.10	Data Kurva Kapasitas *PUSHOVER Y*	119
Tabel 5.11	*Output Capacity Spectrum* dan *Demand Spectrum* Arah X	124
Tabel 5.12	*Output Capacity Spectrum* dan *Demand Spectrum* Arah Y	125
Tabel 5.13	*Performance Point* Metode *ATC-40*	126
Tabel 5.14	Keterangan Simbol Warna Titik Sendi Plastis	129
Tabel 5.15	Perhitungan SCWB Kolom K1	141
Tabel 5.16	Perhitungan SCWB Kolom K2	142
Tabel 5.17	Perhitungan SCWB Kolom K3	142

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Lokasi Proyek	6
Gambar 1.2	Denah Tampak Depan Bangunan	6
Gambar 3.1	Diagram Beban (P) Terhadap Waktu (t)	23
Gambar 3.2	Peta Sebaran Gempa Indonesia	31
Gambar 3.3	Peta Respon Spektral Percepatan Periode 0,2 Detik (S_s)	36
Gambar 3.4	Peta Respon Spektral Percepatan Periode 1 Detik (S_1)	36
Gambar 3.5	Spektrum Respons Desain	41
Gambar 3.6	Letak Sumbu Lokal Balok Struktur Pada SAP2000	47
Gambar 3.7	Letak Sumbu Lokal Kolom Struktur Pada SAP2000	48
Gambar 3.8	Sendi Plastis yang Terjadi Pada Balok dan Kolom	48
Gambar 3.9	Kurva Kapasitas	49
Gambar 3.10	Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa	50
Gambar 3.11	Perubahan Format Kurva Kapasitas Format Standar	51
Gambar 3.12	Perubahan Format Kurva Kapasitas Format ADRS	51
Gambar 3.13	Perubahan Respon Spektra. (a) Respon Spektra Format Standar, (b) Respon Spektra Format ADRS	52
Gambar 3.14	Kurva Penentuan *Performance Point*	53
Gambar 3.15	Simpangan Pada Atap dan Rasio Simpangan Pada Atap	54
Gambar 3.16	Ilustrasi Keruntuhan Gedung Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja	55
Gambar 4.1	Lokasi Penelitian	58
Gambar 4.2	Denah Lantai 1	59
Gambar 4.3	Denah Lantai 2	60
Gambar 4.4	Denah Lantai 3	60
Gambar 4.5	Denah Lantai 4	61
Gambar 4.6	Potongan A-A Menyeluruh	61
Gambar 4.7	Potongan A-A Struktural	62
Gambar 4.8	Diagram Alir Tahapan Prosedur Penelitian	65

Gambar 4.9	Lanjutan Diagram Alir Tahapan Prosedur Penelitian	66
Gambar 5.1	Tampak 3D Gedung Perkantoran	67
Gambar 5.2	Tampak X-Y Gedung Perkantoran	68
Gambar 5.3	Tampak X-Z Gedung Perkantoran	68
Gambar 5.4	Tampak Y-Z Gedung Perkantoran	69
Gambar 5.5	*Add Frame Section Property*	69
Gambar 5.6	*Section Data* Kolom	70
Gambar 5.7	Pemodelan Kolom Menggunakan *Section Designer*	71
Gambar 5.8	*Shape Properties* Kolom	72
Gambar 5.9	*C Model* Kolom	72
Gambar 5.10	*Section Data* Balok	73
Gambar 5.11	Pemodelan Balok Menggunakan *Section Designer*	74
Gambar 5.12	*Shape Properties* Balok	75
Gambar 5.13	*C Model* Balok	75
Gambar 5.14	Denah Balok Elemen B1 Lantai 2	76
Gambar 5.15	Grafik Respon Spektrum	86
Gambar 5.16	Membuat *Respons Spectrum Function*	90
Gambar 5.17	Memasukkan Parameter Respon Spektrum	90
Gambar 5.18	*Define Load Cases* Untuk *Response Spectrum*	91
Gambar 5.19	*Input Data Response Spectrum*	92
Gambar 5.20	Tampilan *Tab Mass Source*	93
Gambar 5.21	Tampilan *Tab Mass Source Data*	93
Gambar 5.22	Parameter *Running Base Reaction* Statik Ekuivalen	94
Gambar 5.23	*Base Reaction* Akibat Gaya Gempa Statik Ekuivalen	94
Gambar 5.24	Parameter *Running Base Reaction* Dinamik	95
Gambar 5.25	*Base Reaction* Akibat Gaya Gempa Dinamik	95
Gambar 5.26	*Input Scale Factor Load Case Data Response Spectrum* Arah X	97
Gambar 5.27	Gaya Gempa Dinamik Arah X setelah Evaluasi *Scale Factor*	97
Gambar 5.28	*Input Scale Factor Load Case Data Response Spectrum* Arah Y	98
Gambar 5.29	Gaya Gempa Dinamik Arah Y setelah Evaluasi *Scale Factor*	99
Gambar 5.30	*Load Case GRAVITY*	100

Gambar 5.31 *Load Application GRAVITY* 101
Gambar 5.32 *Result Saved GRAVITY* 101
Gambar 5.33 *Nonlinear Paramaters GRAVITY* 102
Gambar 5.34 *Load Case PUSHOVER X* 103
Gambar 5.35 *Load Application PUSHOVER X* 104
Gambar 5.36 *Result Saved PUSHOVER X* 104
Gambar 5.37 *Nonlinear Parameters PUSHOVER X* 105
Gambar 5.38 *Load Case PUSHOVER Y* 106
Gambar 5.39 *Load Application PUSHOVER Y* 107
Gambar 5.40 *Result Saved PUSHOVER Y* 107
Gambar 5.41 *Nonlinear Parameters PUSHOVER Y* 108
Gambar 5.42 *Select Frame* Balok 109
Gambar 5.43 *Input Frame Hinge* Balok Tumpuan Kiri 110
Gambar 5.44 *Setting Hinge* Balok Tumpuan Kiri 111
Gambar 5.45 *Input Frame Hinge* Balok Tumpuan Kanan 111
Gambar 5.46 *Setting Hinge* Balok Tumpuan Kanan 112
Gambar 5.47 *Select Frame* Kolom 113
Gambar 5.48 *Input Frame Hinge* Kolom Tumpuan Bawah 113
Gambar 5.49 *Setting Hinge* Kolom Tumpuan Bawah 114
Gambar 5.50 *Input Frame Hinge* Kolom Tumpuan Atas 115
Gambar 5.51 *Setting Hinge* Kolom Tumpuan Atas 116
Gambar 5.52 *Running Analysis* 117
Gambar 5.53 Kurva Kapasitas *PUSHOVER X* 118
Gambar 5.54 Kurva Kapasitas *PUSHOVER Y* 118
Gambar 5.55 Perbandingan Kurva Kapasitas Arah X dan Arah Y 120
Gambar 5.56 Sumbu Kuat dan Sumbu Lemah Struktur 121
Gambar 5.57 *Parameters for ATC-40 Capacity Spectrum* 122
Gambar 5.58 *Capacity Spectrum* Arah X 123
Gambar 5.59 *Capacity Spectrum* Arah Y 124
Gambar 5.60 *Capacity Spectrum* dan *Demand Spectrum* Arah X 125
Gambar 5.61 *Capacity Spectrum* dan *Demand Spectrum* Arah Y 126

Gambar 5.62 Step-1 Terjadi Sendi Plastis Arah X 130
Gambar 5.63 Step-2 Terjadi Sendi Plastis Arah X 130
Gambar 5.64 Step-3 Terjadi Sendi Plastis Arah X 131
Gambar 5.65 Step-4 Terjadi Sendi Plastis Arah X 131
Gambar 5.66 Step-5 Terjadi Sendi Plastis Arah X 132
Gambar 5.67 Step-6 Terjadi Sendi Plastis Arah X 132
Gambar 5.68 Step-7 Terjadi Sendi Plastis Arah X 133
Gambar 5.69 Step-8 Terjadi Sendi Plastis Arah X 134
Gambar 5.70 Step-1 Terjadi Sendi Plastis Arah Y 134
Gambar 5.71 Step-2 Terjadi Sendi Plastis Arah Y 135
Gambar 5.72 Step-3 Terjadi Sendi Plastis Arah Y 135
Gambar 5.73 Step-4 Terjadi Sendi Plastis Arah Y 136
Gambar 5.74 Step-5 Terjadi Sendi Plastis Arah Y 136
Gambar 5.75 Step-6 Terjadi Sendi Plastis Arah Y 137
Gambar 5.76 Step-7 Terjadi Sendi Plastis Arah Y 137
Gambar 5.77 Step-8 Terjadi Sendi Plastis Arah Y 138
Gambar 5.78 Step-9 Terjadi Sendi Plastis Arah Y 138
Gambar 5.79 Step-10 Terjadi Sendi Plastis Arah Y 139
Gambar 5.80 Letak Titik Kolom yang Akan Dianalisis SCWB 141
Gambar 5.81 Persebaran SCWB Pada Kolom K1 dengan Sendi Plastis 142
Gambar 5.82 Persebaran SCWB Pada Kolom K2 dengan Sendi Plastis 143
Gambar 5.83 Persebaran SCWB Pada Kolom K3 dengan Sendi Plastis 143

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Denah Lantai 1
Lampiran 2 Denah Lantai 2
Lampiran 3 Tampak Depan
Lampiran 4 Potongan A-A Menyeluruh
Lampiran 5 Potongan Struktural A-A
Lampiran 6 Detail Kolom
Lampiran 7 Detail Balok 1 dan Balok 2
Lampiran 8 Detail Balok 3 dan Balok 4
Lampiran 9 Denah Pilecap
Lampiran 10 Denah Sloof
Lampiran 11 Denah Kolom
Lampiran 12 Denah Balok Lantai 2
Lampiran 13 Denah Balok Lantai 3
Lampiran 14 Denah Balok Lantai 4
Lampiran 15 Denah Balok Lantai Atap
Lampiran 16 Denah Plat Lantai 2
Lampiran 17 Denah Plat Lantai 3
Lampiran 18 Denah Plat Lantai 4
Lampiran 19 Denah Plat Lantai 5

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$\emptyset_{i1}$ = Amplitude Mode-1 Pada Tingkat Ke-*i*

[a] = Koefisien Modifikasi, R, untuk Penggunaan pada Keseluruhan Standar. Nilai R Mereduksi Gaya ke Level Kekuatan Bukan pada Level Tegangan Izin

[b] = Jika Nilai pada Tabel Faktor Kuat Lebih, Ω_0, Lebih Besar atau Sama dengan 2,5, Maka Ω_0 Diizinkan untuk Direduksi Setengah untuk Struktur dengan Diafragma Fleksibel

B/M/K = Biasa/Menengah/Khusus

[c] = Faktor Pembesaran Simpangan Lateral, *Cd*, untuk Penggunaan Dalam 0, 0, dan 0

C_s = Koefisien Respons Seismik

C_u = Koefisien Periode Batas Atas

Cvx = Faktor Distribusi Vertikal

D = Beban Mati

[d] = TB: Tidak Dibatasi dan TI: Tidak Diizinkan

E_h = Pengaruh Beban Gempa Horizontal

E_v = Pengaruh Beban Gempa Vertikal

EX = *Earthquake* X (beban gempa arah X)

EY = *Earthquake* Y (beban gempa arah Y)

f'c = Kuat Tekan Beton (MPa)

F_a = Faktor Amplifikasi untuk Percepatan pada Perioda Pendek

F_v = Faktor Amplifikasi pada Perioda 1 detik

F_x = Gaya Seismik Lateral

fy = Tegangan Leleh Baja Tulangan (MPa)

g = Percepatan Gravitasi (9,81 m/s^2)

h_i dan h_x = Tinggi dari Dasar Sampai Tingkat *i* atau *x* (m)

h_n = Ketinggian Struktur

I_e = Faktor Keutamaan Gempa

k = Eksponen yang Terkait dengan Periode Struktur

L = Beban Hidup

P = Gaya Aksial

PF_1 = Faktor Partisipasi Modal pada Mode Pertama

Q_E = Pengaruh Gaya Gempa Horizontal dari Distribusi Beban V

S_1 = Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, T = 1,0 detik

S_a = Spektra Percepatan (m)

S_d = Spektra Perpindahan (g)

S_{D1} = Parameter Respons Spektral Percepatan Desain pada Periode 1 detik

S_{DS} = Parameter Respons Spektral Percepatan Desain pada Periode Pendek

SDS = Sistem Dinding Struktur

S_{M1} = Parameter Spektral Desain Perioda 1 detik

SMPM = Sistem Momen Pemikul Momen

S_{MS} = Parameter Spektral Desain Perioda Pendek

SRMP = Sistem Rangka Pemikul Momen

S_s = Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, T = 0,2 detik

$T\ eff$ = Periode Getar Efektif

T = Periode Getar Fundamental Struktur (detik)

T_0 = Periode Pendek

T_a = Periode Pendekatan

T_L = Peta Transisi Periode Panjang

T_{max} = Periode Maksimum

T_s = Waktu Getar Karakteristik yang Diperoleh dari Kurva Respons Spektrum pada Titik Dimana Terdapat Transisi Bagian Akselerasi Konstan ke Bagian Kecepatan Konstan (detik)

U = Kuat Perlu

V = Gaya Geser Dasar Seismik

V = Gaya Lateral Desain Total atau Geser di Dasar Struktur (kN)

Vt = Gaya Lateral (kN)

W = Berat Seismik Efektif

w_i dan w_x = Bagian Berat Seismik Efektif Total Struktur (W) yang Ditempatkan atau Dikenakan pada Tingkat i atau x

w_i/g = Massa pada Tingkat Ke-i

α_1 = Modal Koefisien Massa pada Mode Pertama

$\beta\ eff$ = Redaman Viskous Efektif$_{xvi}$

δ_t = Target Perpindahan

ρ = Faktor Redundansi Struktur

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi dan tingkat resiko gempa yang tinggi. Infrastuktur di Indonesia seperti halnya gedung bertingkat sudah semestinya dibangun dengan jaminan struktur yang bekerja baik ketika terjadi gempa. Perencanaan bangunan tahan gempa salah satunya dapat dilakukan dengan perencanaan berbasis kinerja (*performance-based design*). Konsep tersebut merujuk pada teknik analisa non-linier berbasis komputer untuk dilakukan analisis perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gempa, sehingga dapat diketahui kinerjanya pada kondisi kritis. Penelitian ini mengambil studi kasus Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* yang berlokasi di Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. Gedung ini memiliki ketinggian 16-meter dengan jumlah tingkat yaitu 4 lantai. Kinerja struktur dianalisis menggunakan metode analisis statik non-linier *Pushover* dengan *capacity spectrum* menurut ATC (*Applied Technology Council*) 40 menggunakan *software* SAP2000, luaran yang diperoleh dari hasil analisis yaitu berupa kurva kapasitas, titik kinerja, tingkat kinerja, dan skema sendi plastis. *Performance point* dari hasil analisis yang telah dilakukan diperoleh hasil target perpindahan (δ_t) pada arah X sebesar 0,035 m, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah IO (*Immediate Ocupancy*) dimana gedung hanya mampu menahan gaya gempa sebesar 1296,198 kN. Sedangkan hasil target perpindahan (δ_t) pada arah Y sebesar 0,042 m, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah IO (*Immediate Ocupancy*) dimana gedung hanya mampu menahan gaya gempa sebesar 1279,610 kN.

Kata kunci: Gempa bumi, analisis *pushover*, titik kinerja, tingkat kinerja, sendi plastis

ABSTRACT

Indonesia is a country that has the potential and high level of earthquake risk. Infrastructure in Indonesia, like high-rise buildings, should be built with guaranteed structures that work well when an earthquake occurs. Earthquake-resistant building planning is carried out one of which using performance-based design. The concept refers to computer-based non-linear analysis techniques to analyze the inelastic behavior of structures of various earthquake intensities, so that their performance in critical conditions can be determined. This research takes a case study of the Tegar Utama Group Joint Office Building & RBI Law Firm located in Balikpapan City, East Kalimantan. This building has a height of 16-meters with a total of 4 floors. Structural performance was analyzed using the Pushover non-linear static analysis method with capacity spectrum according to ATC (Applied Technology Council) 40 using SAP2000 software, the outputs obtained from the analysis results are in the form of capacity curves, performance points, performance levels, and plastic hinge schemes. The performance point from the results of the analysis that has been carried out obtained the results of the target displacement (δt) in the X direction of 0.035 m, the performance shown by the structure is IO (Immediate Ocupancy) where the building is only able to withstand an earthquake force of 1296.198 kN. While the result of the target displacement (δt) in the Y direction is 0.042 m, the performance shown by the structure is IO (Immediate Ocupancy) where the building is only able to withstand an earthquake force of 1279.610 kN.

***Keywords**: Earthquake, pushover analysis, performance point, performance level, plastic hinge*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang tersusun atas berbagai pulau yang tersebar dari garis lintang utara 6° pada Pulau We hingga lintang selatan 11° Pulau Rote dan batas barat 95° pada Sabang hingga bujur timur 141° pada Merauke. Indonesia menjadi negara kepulauan disebabkan oleh letak geografis Indonesia terletak di sepanjang jalur seismik bergejolak atau Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) dan berada pada pertemuan tiga lempeng litosferik besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Hal tersebut menjadikan Indonesia menjadi wilayah yang rawan terjadi tabrakan antar lempeng yang mengakibatkan aktifitas gelombang atau gempa tektonik.

Gempa bumi atau gempa tektonik merupakan femomena getaran pada permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya pergerakan kerak atau lempeng bumi secara tiba-tiba sehingga menimbulkan gelombang seismik (Siska, 2019). Gelombang tersebut merambat ke berbagai arah menjauhi pusat gempa. Rambatan tersebut mengakibatkan adanya interaksi berbagai jenis gelombang yang dapat menggerakkan tanah secara vertikal dan horizontal. Pergerakan tanah itu yang menyebabkan terjadinya kerusakan struktur bangunan hingga menimbulkan korban jiwa. Berdasarkan data dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) berikut merupakan riwayat terjadinya gempa bumi di Indonesia yang menimbulkan kerugian dan korban yang cukup besar.

1. Gempa Aceh 26 Desember 2004 dengan kekuatan 9,3 SR,
2. Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 dengan kekuatan 5,9 SR,
3. Gempa Padang 30 September 2009 dengan kekuatan 7,6 SR,
4. Gempa Mentawai 25 Oktober 2010 dengan kekuatan 7,7 SR,
5. Gempa Tarakan, 21 Desember 2015 dengan kekuatan 6,1 SR,

6. Gempa Banten 23 Januari 2018 dengan kekuatan 6,4 SR,
7. Gempa Lombok 29 Juli 2018 dengan kekuatan 6,4 SR,
8. Gempa Palu 28 September 2018 dengan kekuatan 7,4 SR,
9. Gempa Kep. Selayar 14 Desember 2021 dengan kekuatan 7,4 SR,
10. Gempa Cianjur 21 November 2022 dengan kekuatan 5,6 SR.

Pada umumnya konstruksi bangunan direncanakan dan didesain mampu menahan besarnya gaya vertikal yang muncul akibat berat bangunan dan isinya, serta dilakukan perkuatan tertentu dengan standar keamanan guna menahan gaya vertikal tambahan dan gaya horizontal yang terjadi dari gelombang seismik gempa bumi. Beberapa gempa yang terjadi di Indonesia telah menimbulkan berbagai kerugian dan kerusakan bangunan. Dampak tersebut tentunya diharapkan dapat dihindari oleh berbagai bangunan dan infrastruktur di masa yang akan datang dalam bertahan ketika terjadi gempa dengan skala yang pernah terjadi atau bahkan gempa yang memiliki kekuatan yang lebih kuat. Dalam upaya menghindari terjadinya dampak bencana gempa di masa yang akan datang, diperlukan keseriusan dalam meningkatkan mutu kualitas konstruksi di Indonesia.

Sebelumnya metode perencanaan bangunan tahan gempa dilakukan berdasarkan kekuatan atau SBD (*strength-based design*). Peraturan yang ada tidak jelas dalam memastikan level kinerja suatu bangunan yang didesain, namun dengan menggunakan analisis metode PBSD (*performance based seismic design*), level kinerja suatu bangunan dapat dinilai berdasarkan gempa yang direncanakan sehingga pemilik bangunan dapat memilih level kinerja dari bangunannya yang berdampak pada biaya pembangunan dan biaya perbaikannya (Powell, 2007). Metode PBSD menekankan pada proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru dengan pemahaman yang realistik terhadap keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*), dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang (Dewobroto, 2005). Perencanaan berbasis kinerja (PBSD) sangat harus dilakukan karena sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan dengan jelas, yang mana sasaran kinerja gempa diantaranya ditentukan dari tingkat kinerja yang memuat batasan kerusakan

berdasarkan kerusakan fisik struktur dan elemen struktur hingga dapat diketahui pula keadaan struktur bangunan.

Pelaksanaan evaluasi terhadap bangunan tidak melulu dilakukan pasca bencana gempa tetapi juga harus dilakukan sebagai langkah pencegahan atau mitigasi yang bermaksud untuk mengurangi dampak akibat bencana gempa (UU Nomor 24 Tahun 2007). Sehingga perlu dilakukan analisis hingga evaluasi kinerja seismik pada bangunan yang baru terbangun atau eksisting sebelum terjadi bencana, upaya tersebut merupakan langkah yang sesuai dalam hal mengatasi dampak bencana gempa.

Pada penelitian ini, bangunan Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* yang berlokasi di Kota Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur akan di analisis dengan metode *pushover analysis* sesuai dengan pembebanan yang diatur pada SNI 1726:2019 dan prosedur *pushover analysis* yang mengacu pada ATC-40 (*Capacity Spectrum Method*) untuk memperoleh hasil level kinerja seismik struktur bangunan dan skema sendi plastis yang dapat terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, terdapat 3 (tiga) rumusan masalah yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana hasil kurva kapasitas dari *pushover analysis* pada Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm*?
2. Bagaimana hasil *performance point* dan level kinerja seismic struktur bangunan Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* sesuai metode ATC-40?
3. Bagaimana skema sendi plastis yang terjadi setelah dilakukan *pushover analysis*?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Mengetahui kurva kapasitas pada Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* dari hasil *pushover analysis*,
2. Mengetahui *performance point* dan level kinerja bangunan Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* dengan metode ATC-40, dan
3. Mengetahui skema sendi plastis yang terjadi pada Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* setelah dilakukan *pushover analysis*.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan dalam peneitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Bangunan yang diteliti berdasarkan data *Masterplan & Shop Drawing* Pembangunan Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm*.
2. Analisa gaya gempa berdasarkan SNI-1726-2019 dengan peta gempa terbaru.
3. Komponen yang dievaluasi hanya komponen struktur.
4. Fondasi dan kondisi tanah tidak dievaluasi.
5. Analisis penelitian sebagai berikut.
    a. Analisis struktur ditinjau dalam bentuk permodelan 3 dimensi dengan program *software* SAP2000.
    b. Tumpuan yang digunakan dalam permodelan numerik adalah jepit.
    c. Sistem struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK).
    d. Permodelan numerik sebagai *open frame*.
    e. Balok dan kolom dimodelkan sebagai *frame*.
    f. Pelat lantai dimodelkan sebagai *shell-thin*.
    g. Dinding bata tidak dimodelkan.
    h. Analisis yang digunakan adalah analisis statik nonlinier *pushover*.
    i. Analisis statik nonlinier *pushover* yang digunakan sesuai prosedur ATC-40 yang telah *built-in* dalam program *software* SAP2000.

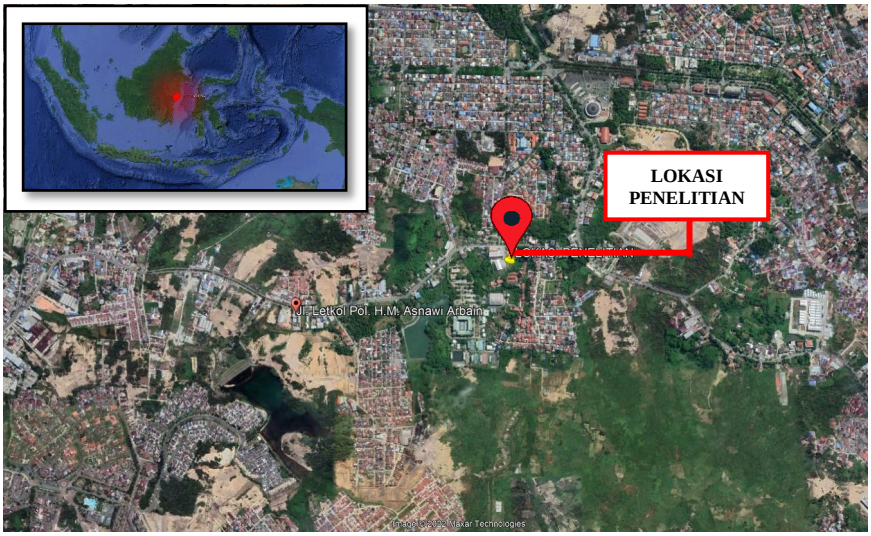
1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan pada penelitian ini, terdapat manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Untuk penulis, ilmu serta pemahaman terkait bidang teknik sipil tentang analisis statik *pushover* dapat bertambah, sehingga penulis dapat mengembangkan kemampuan dalam menjalankan program *software* SAP2000 khususnya dalam mendesain struktur beton portal 3D (tiga dimensi).
2. Untuk pembaca, dengan analisis *static pushover* dapat diperoleh wawasan dan pengetahuan mengenai perilaku bangunan gedung tahan gempa, yang dapat menjadi bahan referensi untuk penelitian selanjutnya tentang analisis *static pushover* dan tingkat kinerja bangunan.
3. Untuk praktisi, evaluasi penilaian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam merencanakan, membenahi, dan memperkuat agar struktur bangunan dapat tahan terhadap gempa.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi pembangunan Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* di Kota Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur ditujukan seperti pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 berikut.



Gambar 1.1 Peta Lokasi Proyek
(Sumber: *Google Earth Pro*, 2022)



Gambar 1.2 Denah Tampak Depan Bangunan
(Sumber: Data Sekunder, 2022)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Tentang Kinerja Struktur Bangunan

Studi pustaka diperlukan untuk mengetahui informai terkait perkembangan penelitian kinerja struktur bangunan yang terdahulu dan mencegah terjadinya plagiasi. Penelitian sejenis terkait kinerja struktur bangunan yang pernah dilakukan disampaikan sebagai berikut.

1. Evaluasi Kinerja Gedung Dinas Kependudukan Dan Catatan Sipil Purbalingga Dengan Analisis *Pushover*.

   Penelitian ini bersumber dari jurnal oleh Widyaningrum & Haryanto, 2019. Analisis dilakukan dengan bantuan program *software* SAP 2000. Struktur yang dianalisis merupakan bangunan gedung 2 lantai di Kabupaten Purbalingga.

   Analisis dilakukan dengan metode analisis gempa statik yaitu analisis statik *pushover*. Tujuan penulisan jurnal adalah memperoleh data primer berupa data lokasi sendi plastis, simpangan antar lantai, dan *performance point-performance point* yang digunakan untuk menentukan level kinerja struktur bangunan terhadap tahanan gempa.

   Hasil penelitian meliputi 2 hal berikut ini.

   a. Pada lantai dasar ke lantai 2 terdapat simpangan cukup besar daripada simpangan pada lantai 2 ke lantai atap. Hal ini menandakan bahwa pada langkah keruntuhan masing-masing sumbu kolom lantai dasar mengalami keruntuhan lebih cepat terhadap kolom lantai di atasnya.

   b. Analisis kinerja berdasarkan ATC-40 menghasilkan rasio simpangan sebesar 0,007 pada sumbu X dan 0,008 pada sumbu Y. Kedua rasio

simpangan tersebut masih di bawah batasan kategori *Immediate Occupancy* (*IO*) sebesar 0,01 yang menandakan bahwa pada sumbu X dan Y tidak mengalami keruntuhan struktural maupun non-struktural. Sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai kembali.

2. Analisis Struktur Atas Empat Lantai Dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Program SAP 2000 Studi Kasus: Gedung Kantor Bersama Kabupaten Sijunjung.

   Penelitian ini bersumber dari jurnal oleh Masril, 2019. Analisis dilakukan dengan bantuan program *software* SAP 2000. Gedung yang dianalisis adalah gedung kantor yang berlokasi di Kabupaten Sijunjung dengan lantai berjumlah 4 lantai.

   Analisis dilakukan dengan metode analisis gempa statik yaitu analisis statik *pushover*. Tujuan penulisan jurnal adalah evaluasi kinerja tahanan gempa gedung kantor untuk memperoleh nilai kapasitas gempa efektif struktur dan perilakunya dengan menampilkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen balok dan kolom dengan metode *pushover* berdasarkan peraturan kode *Applied Technology Council* (ATC-40) serta menentukan level kinerja struktur terhadap tahanan gempa berdasarkan kode tersebut.

   Hasil penelitian meliputi 3 hal berikut ini.

   a. Diperoleh nilai-nilai pada *performance point* antara lain, gaya geser dasar efektif (*V*) sebesar 12180,105 kN, simpangan atap (*D*) sebesar 1,035 m, periode efektif (*T*) sebesar 1,332 detik, dan redaman sebesar 5,3%.

   b. Berdasarkan nilai *performance point* diperoleh nilai maksimum *total drift* dan maksimum in-elastik *drift* berturut-turut sebesar 0,0093 dan 0,0049.

   c. Berdasarkan kriteria kinerja struktur ATC-40, nilai maksimum *total drift* dan maksimum in-elastik *drift* masuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (*IO*), yang berarti jika terjadi gempa gedung tidak mengalami

kerusakan struktural dan non struktural sehingga bangunan tetap aman digunakan.

3. Analisis Respons Dan Kinerja Struktur Bangunan Gedung Menggunakan *Pushover Analysis*.

   Penelitian ini bersumber dari jurnal oleh Usman dkk., 2021. Analisis dilakukan dengan bantuan program *software* SAP 2000. Struktur yang dianalisis merupakan bangunan gedung 4 lantai di beberapa wilayah yang mewakili tingkat resiko gempa rendah hingga tinggi, yaitu wilayah Pontianak, Palembang, Jakarta, Bandar Lampung, dan Palu.

   Analisis dilakukan dengan metode analisis gempa statik yaitu analisis statik *pushover*. Tujuan penulisan jurnal adalah analisis perbandingan respons dan kinerja struktur suatu bangunan gedung di beberapa wilayah dengan tingkat resiko gempa rendah hingga tinggi, dan untuk mengetahui perbandingan gaya geser dan perilakunya dengan menampilkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen balok dan kolom dengan metode *pushover* berdasarkan peraturan kode *Applied Technology Council* (ATC-40) serta menentukan level kinerja struktur terhadap tahanan gempa berdasarkan kode tersebut.

   Hasil penelitian meliputi 2 hal berikut ini.

   a. Analisis linear menunjukkan bahwa gaya geser terbesar dimiliki oleh gedung di wilayah Palu sebesar 764,97 ton, dan terkecil dimiliki oleh gedung di wilayah Pontianak sebesar 185,16 ton.

   b. Hasil analisis kinerja struktur berdasarkan analisis *pushover* pada masing-masing wilayah memiliki level kinerja B dan didominasi IO (*Immediate Occupancy*). Dimana struktur yang berada pada level kinerja B terjadi di wilayah Palu arah Y, sedangkan untuk struktur lainnya berada pada level kinerja IO.

4. Analisis Kinerja Struktur Gedung Sekolah 4 Lantai Dengan Metode *Push Over*.

   Penelitian ini bersumber dari jurnal oleh Shulhan dkk., 2021. Analisis dilakukan dengan bantuan program *software* ETABS. Gedung yang dianalisis adalah gedung sekolah yang berlokasi di Magelang dengan lantai berjumlah 4 lantai.

   Analisis dilakukan dengan metode analisis gempa statik yaitu analisis statik *pushover*. Tujuan penulisan jurnal adalah evaluasi kinerja tahanan gempa gedung sekolah untuk memperoleh nilai keamanan dari *displacement inelastic* dan perilakunya dengan menampilkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen balok dan kolom dengan metode *pushover* berdasarkan peraturan kode *Applied Technology Council* (ATC-40) serta menentukan level kinerja struktur terhadap tahanan gempa berdasarkan kode tersebut.

   Hasil penelitian meliputi 2 hal berikut ini.

   a. Nilai *displacement inelastic* adalah 0,0949 m (arah X) dan 0,0366 m (arah Y). *Displacement inelastic* pada gedung tidak melampaui *displacement* maksimal yang ditentukan oleh ATC-60 (1996). Batasan yang ditentukan ATC-40 pada arah X sebesar 0,00593 dan arah Y sebesar 0,01.
   b. Dengan *output displacement inelastic* dan batas ATC-40, maka gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (*IO*). Artinya bahwa bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai kembali.

5. Analisis Kinerja Struktur Gedung Dengan Analisis *Pushover* Pada Proyek Gedung Rektorat Universitas Mahasaraswati Denpasar.

   Penelitian ini bersumber dari jurnal oleh Sastra Wibawa dkk., 2021. Analisis dilakukan dengan bantuan program *software* SAP 2000. Gedung yang dianalisis adalah gedung rektorat universitas yang berlokasi di Denpasar dengan lantai berjumlah 5 lantai.

Analisis dilakukan dengan metode analisis gempa statik yaitu analisis statik *pushover*. Tujuan penulisan jurnal adalah evaluasi kinerja tahanan gempa gedung sekolah untuk memperoleh nilai keamanan dari *displacement inelastic* dan perilakunya dengan menampilkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen balok dan kolom dengan metode *pushover* berdasarkan koefisien perpindahan *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) 356 serta menentukan level kinerja struktur terhadap tahanan gempa berdasarkan kode tersebut.

Hasil penelitian meliputi 2 hal berikut ini.

a. Gaya lateral maksimum yang mampu ditahan oleh struktur untuk arah X adalah sebesar 3820,91 kN dengan *displacement* sebesar 177,98 mm. Sedangkan untuk arah Y adalah sebesar 3756,71 kN dengan *displacement* sebesar 167,70 mm.
b. Hasil analisis dari metode koefisien perpindahan FEMA 356 dapat disimpulkan bahwa Gedung Rektorat Universitas Mahasaraswati Denpasar masuk pada *level Collapse Prevention* (CP) yakni, struktur mengalami kerusakan tetapi belum runtuh. Terjadi perubahan kekakuan struktur. Kecelakaan yang diakibatkan jatuhnya material mungkin terjadi.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbedaan penelitian penulis dengan penelitian terdahulu ditujukan pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Aspek	Peneliti					
		Widyaningrum & Haryanto, 2019	**Masril, 2019**	**Usman dkk., 2021**	**Shulhan dkk., 2021**	**Sastra Wibawa dkk., 2021**	**Peneliti, 2023**
1.	Judul	Evaluasi Kinerja Gedung Dinas Kependudukan Dan Catatan Sipil Purbalingga Dengan Analisis *Pushover*	Analisis Struktur Atas Empat Lantai Dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Program SAP 2000 Studi Kasus: Gedung Kantor Bersama Kabupaten Sijunjung	Analisis Respons Dan Kinerja Struktur Bangunan Gedung Menggunakan *Pushover Analysis*	Analisis Kinerja Struktur Gedung Sekolah 4 Lantai Dengan Metode *Push Over*	Analisis Kinerja Struktur Gedung Dengan Analisis *Pushover* Pada Proyek Gedung Rektorat Universitas Mahasaraswati Denpasar	Analisis Kinerja Gedung Perkantoran 4 Lantai Dengan Metode *Pushover Analysis*

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Aspek	Peneliti					
		Widyaningrum & Haryanto, 2019	**Masril, 2019**	**Usman dkk., 2021**	**Shulhan dkk., 2021**	**Sastra Wibawa dkk., 2021**	**Peneliti, 2023**
2.	Tujuan Penelitian	Memmperoleh data primer berupa data lokasi sendi plastis, simpangan antar lantai, dan *performance point* level kinerja struktur bangunan terhadap tahanan gempa.	Evaluasi kinerja tahanan kapasitas gempa efektif dan skema sendi plastis dengan metode *pushover* berdasarkan ATC-40.	Perbandingan respons dan kinerja serta perbandingan gaya geser dan perilakunya dengan menampilkan skema terjadinya sendi plastis dengan metode *pushover* ATC-40.	Evaluasi kinerja tahanan gempa dengan nilai keamanan dari *displacement inelastic* dan terjadinya sendi plastis pada struktur dengan metode *pushover* sesuai peraturan ATC-40.	Evaluasi kinerja tahanan gempa dengan nilai keamanan dari *displacement inelastic* dan terjadinya sendi plastis pada struktur dengan metode *pushover* sesuai peraturan FEMA 356.	Evaluasi kinerja tahanan gempa berdasarkan *performance point* dan terjadinya sendi plastis pada struktur dengan metode *pushover* sesuai peraturan ATC-40.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Aspek	Peneliti					
		Widyaningrum & Haryanto, 2019	**Masril, 2019**	**Usman dkk., 2021**	**Shulhan dkk., 2021**	**Sastra Wibawa dkk., 2021**	**Peneliti, 2023**
3.	Bentuk dan Tinggi Bangunan Gedung	Gedung kantor dengan tingkat 2 lantai.	Gedung kantor dengan tingkat 4 lantai dan memiliki ketinggian 16 meter.	Gedung rumah sakit dengan tingkat 4 lantai dan ketinggian 17,1 meter.	Gedung sekolah dengan tingkat 4 lantai dan memiliki ketinggian 16 meter.	Gedung rektorat universitas dengan tingkat 5 lantai dan ketinggian 20,40 meter.	Gedung kantor dengan tingkat 4 lantai dan ketinggian 16 meter.
4.	Metode Penelitian	Pengumpulan data sekunder, memodelkan di SAP2000, analisis kinerja gedung dengan *pushover analysis*,	Studi literatur dan pengumpulan data bangunan, memodelkan bangunan dalam bentuk 3D dengan *software*	Studi literatur dan pengumpulan data bangunan, *preliminary design*, memodelkan bangunan dalam	Studi literatur dan pengumpulan data bangunan, memodelkan bangunan dalam bentuk 3D dengan *software* ETABS,	Studi literatur dan pengumpulan data bangunan, pemodelan struktur dengan SAP2000,	Studi literatur dan pengumpulan data bangunan, memodelkan struktur (kolom, balok, dan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Aspek	Peneliti					
		Widyaningrum & Haryanto, 2019	**Masril, 2019**	**Usman dkk., 2021**	**Shulhan dkk., 2021**	**Sastra Wibawa dkk., 2021**	**Peneliti, 2023**
4.	Metode Penelitian	memperoleh data primer berupa lokasi sendi plastis, simpangan antar lantai, dan *performance point performance* untuk menentukan level kinerja bangunan.	SAP2000, analisis *pushover* dan evaluasi kinerja struktur.	bentuk 3D dengan *software* SAP2000, analisis respon spektrum, analisis desain struktur, analisis *pushover*, *output* kinerja struktur dan pembahasan.	analisis *pushover*, mengevaluasi kinerja struktur.	analisis *pushover*, evaluasi kinerja struktur.	pelat) bangunan dengan *software* SAP2000, analisis *pushover*, evaluasi kinerja struktur.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Aspek	Peneliti					
		Widyaningrum & Haryanto, 2019	**Masril, 2019**	**Usman dkk., 2021**	**Shulhan dkk., 2021**	**Sastra Wibawa dkk., 2021**	**Peneliti, 2023**
5.	Hasil Penelitian	Rasio simpangan sebesar 0,007 pada sumbu X dan 0,008 pada sumbu Y. Kedua rasio simpangan tersebut masih di bawah batasan kategori *Immediate Occupancy* (*IO*) sebesar 0,01.	Gaya geser dasar efektif 12180,105 kN, simpangan atap 1,035 m, periode efektif 1,332 detik, dan redaman 5,3%. Nilai maksimum total drift dan maksimum in-elastik drift 0,0093 dan 0,0049. Dan masuk kategori *Immediate Occupancy* (*IO*).	Hasil analisis kinerja struktur berdasarkan analisis *pushover* pada masing-masing wilayah memiliki level kinerja B dan didominasi IO (*Immediate Occupancy*).	*Displacement inelastic* 0,0949 m (arah X) dan 0,0366 m (arah Y). Batasan yang ditentukan ATC-40 pada arah X sebesar 0,00593 dan arah Y sebesar 0,01. Gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (*IO*).	Gaya lateral maksimum arah X 3820,91 kN dan arah Y 3756,71 kN, dengan *displacement* X 177,98 mm dan Y 167,70 mm. Hasil analisis masuk pada *level Collapse Prevention* (CP).	-

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasar dari penelitian-penelitian sebelumnya seperti ditujukan pada Tabel 2.1, penelitian yang akan dilakukan merupakan karya asli dan bukan merupakan plagiasi, berikut ini merupakan perbedaan terhadap penelitian pada tugas akhir ini.

1. Gedung yang akan dianalisis adalah Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* dengan menggunakan denah berdasarkan *Masterplan & Shop Drawing*.
2. Analisis *pushover* menggunakan program *software* SAP 2000 dan akan dimodelkan secara 3D dengan ukuran serta spesifikasi sesuai data bangunan.
3. Peraturan dalam analisis gempa respon spektrum menggunakan SNI-1726-2019.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan getaran asli dari dalam bumi yang bersumber di dalam bumi kemudian terjadi rambatan ke permukaan bumi akibat dari sesuatu yang pecah dalam bumi dan bergeser dengan keras. Gempa bumi merupakan peristiwa bergoncangnya atau terjadinya getaran bumi yang disebabkan oleh pergeseran atau pergeraan lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng tektonik. Gempa bumi tektonik adalah gempa yang terjadi akibat proses pergerakan lempeng tektonik, sedangkan yang terjadi akibat aktifitas gunung berapi disebut dengan gempa bumi vulkanik. Lapisan batuan dalam bumi yang bergerak secara tiba-tiba menghasilkan energi berupa gelombang seismik atau gelombang gempa bumi (Nur Mustofa, 2010).

Pawirodikromo, 2012 menyatakan bahwa gempa bumi secara pasti belum dapat diprediksi kejadiannya, yaitu tempat dan waktu kejadian, magnitudo gempa maupun kedalaman fokusnya. Walau belum dapat diprediksi secara tepat, tetapi perkiraan tempat-tempat potensi kejadian gempa pada masa mendatang sudah dapat diidentifikasi dengan baik.

Tavio & Wijaya, 2018 menyatakan jenis gempa berdasarkan penyebabnya adalah sebagai berikut.

1. Gempa vulkanik, merupakan gempa yang terjadi akibat aktifitas gunung berapi yang memuntahkan lahar panas dari perut gunung berapi. Biasanya gempa vulkanik terjadi sebelum letusan gunung berapi. Di Indonesia terdapat banyak gunung berapi aktif yang dapat meletus setiap saat namun dampak dari gempa vulkanik akibat letusan gunung berapi tidak sebesar gempa teknonik, hal ini disebabkan energi gempa sudah dilepaskan pada saat terjad letusan-letusan sebelum letusan besar terjadi sehingga dampak gempa tersebut hanya dirasakan di sekitar lokasi gunung berapi.

2. Gempa tektonik, merupakan gempa yang terjadi akibat adanya pergerakan lempeng kerak bumi atau karena adanya garis patahan bumi. Gempa tektonik akibat pergerakan lempeng dapat terjadi di laut dan di darat. Beberapa lempeng kerak bumi dan patahan yang terkenal di dunia dan dapat menyebabkan gempa tektonik adalah Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Patahan San Andreas. Di Indonesia di lewati oleh Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia sehingga bencana gempa dapat terjadi kapan saja.

3.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang dapat merespon aktivitas gempa dengan bertahan dari dampak keruntuhan dan bersifat fleksibel dalam meredam getaran gempa. Struktur yang aman gempa gempa adalah struktur dengan desain yang dapat menahan berbagai kekuatan yang ditimbulkan oleh gempa sehingga struktur dapat bertahan. Bangunan atau struktur yang tahan gempa adalah bangunan yang tahan gempa tanpa mengalami kerusakan atau keruntuhan. Bukan struktur yang bagaikan hanya sudah direncanakan dengan memperhitungkan beban gempa (beban horizontal) saja.

Prinsip bangunan yang akan dibangun sejatinya mengacu pada prinsip *earthquake resistant building*, yaitu bangunan yang relatif kuat terhadap bahaya gempa tetapi pembangunannya cenderung relatif murah (Pawirodikromo, 2012). Sehingga dalam merencanakan bangunan tahan gempa dapat tercapai dengan tujuan jika harus dilakukan perbaikan ketika terjadi kerusakan maka dapat meminimalisasi biaya perbaikan dan mengurangi risiko akibat gempa.

Menurut Pawirodikromo, 2012 prinsip-prinsip desain filosofi bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut.

1. Pada gempa kecil (*light,* atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non-struktur masih diperbolehkan.

2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak atau retak ringan tetapi masih dapat diperbaiki. Elemen non-struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia atau penghuni secara maksimum.

3.3 Teori Evaluasi Bangunan

Evaluasi merupakan tindakan untuk melakukan dokumentasi dan penilaian terkait apa yang terjadi dan juga mengapa hal itu dapat terjadi (Bryant & White, 1989). Hal tersebut mengartikan evaluasi bangunan sebagai tahapan untuk menyediakan data dan informasi secara keseluruhan mengenai bangunan dari berbagai aspek seperti struktur, mekanikal elektrikal, dan arsitektur yang selanjutnya dilakukan peninjauan dengan standar bangunan yang telah ditentukan.

Tujuan dilakukannya kegiatan penilaian pada bangunan adalah untuk mendapatkan data mengenai kondisi dan kelayakan suatu bangunan, perubahan prinsip keamanan pada bangunan bertingkat ketika terjadi bencana seperti gempa. Misalnya metode prabencana masih digunakan saat merencanakan gedung bertingkat. Namun setelah terjadi bencana, pedoman perencanaan pembangunan gedung bertingkat telah berubah, sehingga perlu dilakukan penilaian keamanan dan kelayakan gedung sebagai strategi mitigasi bencana.

3.4 Analisis Struktur Bangunan

Dalam memastikan perilaku struktur dalam merespon beban atau gaya yang diterima, respon struktur harus dievaluasi. Respon struktur dapat dilakukan dalam dua cara, khususnya analisis statik ekuivalen dan analisis dinamis. Secara umum ada dua jenis analisis struktur beban gempa sebagai berikut.

1. Analisis beban statik ekuivalen adalah metode analisis struktur melalui getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban-beban horizontal statik yang bekerja pada pusat massa bangunan. Prinsip ini didasarkan bahwa bila sebuah sistem struktur mengalami getaran, maka seluruh ragam getar dapat terjadi bersamaan sehingga terjadi interferensi antar pengaruh dari semua ragam getar. Pada kondisi tertentu, ragam getar pertama memberikan pengaruh yang dominan terhadap struktur, sehingga pengaruh ragam yang lain dapat diabaikan. Pada kondisi ini, pengaruh getaran terhadap struktur dapat diwakili dengan serangkaian beban horizontal statik yang disebut beban statik ekuivalen yang mengakibatkan terjadinya respons (simpangan dan gaya dalam) yang sama dengan respons yang diakibatkan oleh getaran ragam pertama tersebut.
2. Analisis dinamik merupakan metode analisis struktur, dengan membagi gaya geser seismik di semua tingkat dan memperhitungkan efek dinamis gerakan tanah pada struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2 (dua) macam sebagai berikut.
    a. Analisis riwayat waktu (*time history*) merupakan analisis dinamis dengan cara memberikan suatu catatan rekaman gempa pada sebuah model struktur dan menghitung respon struktur langkah demi langkah pada interval tertentu.
    b. Analisis ragam respon spektrum (*spectrum response*) dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.

Berdasarkan SNI 1726-2012, analisis dengan metode statik tidak dapat digunakan jika struktur bangunan gedung memiliki tinggi lebih dari 10 tingkat atau 40 m yang diukur dari taraf penjepitan lateralnya. Sehingga bangunan yang memiliki tinggi lebih dari 10 tingkat atau 40 m masuk dalam kelompok bangunan tidak beraturan dan dilakukan analisis dengan beban dinamik melalui cara elastis maupun inelastis. Cara elastis diklasifikasikan menjadi Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*) dan Analisis Ragam Respon Spektrum (*Respons Spectrum Modal Analysis*). Pada analisis dinamis elastis merupakan cara yang lebih sederhana sehingga lebih sering digunakan untuk mendapatkan respon

struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*Direct Integration Method*).

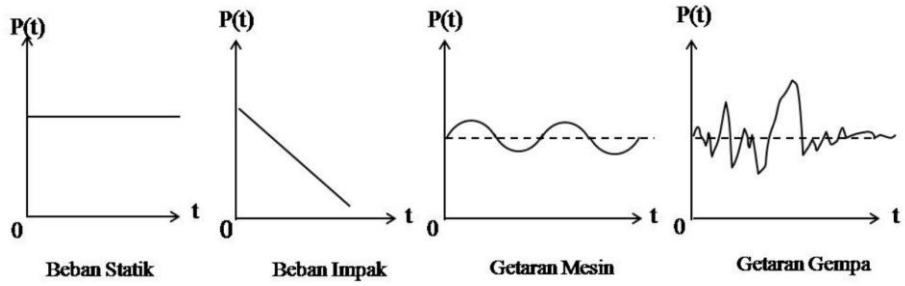
Respons spektrum adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara suatu sistem Satu Derajat Kebebasan (SDK) dan percepatan respons maksimum yang disebabkan oleh gempa masukan tertentu. Spektrum elastis digunakan dalam analisis dinamik linier, dan spektrum didasarkan pada respons elastik struktur.

Analisis dinamik merupakan cara untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat yang disebabkan oleh gerakan tanah akibat gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam spektrum respon. Pembagian gaya geser tingkat tersebut bermaksud untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban statik ekuivalen. Pada analisis ragam spektrum respon, spektrum percepatan respon gempa rencana harus menggunakandiagram koefisien gempa dasar (C) untuk wilayah masing-masing ragam merupakan respon relatif.

Pada ilmu statika keseimbangan gaya-gaya didasarkan atas kondisi statik, yang mana gaya-gaya tersebut memiliki intensitas yang tetap, tetap tempatnya dan tetap arah atau garis kerjanya (Pawirodikromo, 2000). Gaya-gaya tersebut masuk dalam kategori beban statik. Kondisi tersebut akan berbeda dengan beban dinamik dengan pokok-pokok perbedaan sebagai berikut.

1. Beban yang berubah dari waktu ke waktu (*time varying*) disebut beban dinamis, dan beban dinamis adalah fungsi dari waktu.
2. Beban dinamik umumnya hanya bekerja pada rentang waktu tertentu. Untuk gempa bumi maka rentang waktu tersebut terkadang hanya beberapa detik saja. Namun beban angin dan beban gempa dapat merusak struktur dengan kerugian yang sangat besar.
3. Gaya inersia yang arahnya berlawanan dengan arah gerak dapat dihasilkan di pusat massa oleh beban dinamis.
4. Beban dinamik lebih kompleks dibanding dengan beban statik. Terkadang asumsi perlu dilakukan untuk mengatasi ketidakpastian yang mungkin ada pada beban dinamik.

5. Struktur yang juga berubah seiring waktu, dipengaruhi oleh beban dinamik, yang intensitasnya berubah seiring waktu. Akibatnya, solusi untuk masalah dinamik adalah penyelesaian berganda karena memerlukan eksekusi berulang (*multiple solution*) dan bersifat penyelesaian tunggal (*single solution*).
6. Penyelesaian struktur beban dinamis akan memakan waktu lebih lama dan lebih mahal karena penyelesaian berulang.



Gambar 3.1 Diagram Beban (P) Terhadap Waktu (t)
(Sumber: Nugroho, A.C.P.T, 2019)

Struktur yang bersangkutan juga akan bergetar atau bergerak akibat respon waktu yang bervariasi yang dihasilkan oleh beban dinamik. Dalam hal ini, material tidak akan bergerak, dan secara umum diyakini bahwa material tersebut dapat meredam getaran. Sehingga dalam hal ini peristiwa redaman akan terjadi pada pembebanan dinamis yang tidak terjadi pada pembebanan statik.

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 Pasal 4.2.1 menyatakan bahwa struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut.

1. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
2. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan kalaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.

3. Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan kalaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
4. Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
5. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan kalaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.
6. Sistem struktur gedung memiliki kekauan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat, dimana kekakuan lateralnya adalah kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekauan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar-tingkat.
7. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
8. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
9. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Kalaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Untuk struktur gedung beraturan, pengaruh gempa rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa statik ekuivalen, sehingga menurut standar ini analisisnya dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen.

Struktur bangunan tidak beraturan adalah konstruksi yang tidak sesuai dengan peraturan tersebut. Analisis harus dilakukan dengan menggunakan analisis respons dinamik karena pengaruh gempa rencana dan pengaruh pembebanan gempa dinamik harus ditinjau untuk struktur bangunan tidak beraturan.

3.5 Pembebanan Struktur

Pada perencanaan pembangunan gedung, susunan pembebanan struktur merupakan aspek penting yang perlu diperhatikan. Jika asumsi terjadi kesalahan dalam menentukan susunan, akan berakibat fatal dimana beban yang mendasarinya akan berkurang atau bahkan tidak wajar, sehingga perencana harus menghitung susunan pembebanan pada struktur dengan cermat dan lengkap agar struktur yang direncanakan tetap aman pada saat dibangun hingga digunakan. Beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan beban gempa (*earthquake load*) merupakan beban yang digunakan dalam penelitian ini.

3.5.1 Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan. Berat dari elemen-elemen ini umumnya dapat ditentukan dengan mudah dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Untuk menghitung besarnya beban mati suatu elemen dilakukan dengan meninjau berat satuan material tersebut berdasarkan volume elemen. Beban mati yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1	Baja	7850	kg/m^3
2	Batu alam	2600	kg/m^3
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500	kg/m^3
4	Batu karang (berat tumpuk)	700	kg/m^3

Lanjutan Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
5	Batu pecah	1450	kg/m^3
6	Besi tuang	7250	kg/m^3
7	Beton ([1])	2200	kg/m^3
8	Beton bertulang ([2])	2400	kg/m^3
9	Kayu (Kelas I) ([3])	1000	kg/m^3
10	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650	kg/m^3
11	Pasangan bata merah	1700	kg/m^3
12	Pasangan batu belah, baru bulat, batu gunung	2200	kg/m^3
13	Pasangan batu cetak	2200	kg/m^3
14	Pasangan batu karang	1450	kg/m^3
15	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600	kg/m^3
16	Pasir (jenuh air)	1800	kg/m^3
17	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850	kg/m^3
18	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700	kg/m^3
19	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000	kg/m^3
20	Timah hitam (timbel)	11400	kg/m^3

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (1987)

Catatan:

(1) Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi.

(2) Untuk beton getar, beton kejut, beton mampat dan beton padat lain sejenis, berat sendirinya harus ditentukan tersendiri.

(3) Nilai ini adalah nilai rata-rata, untuk jenis-jenis kayu tertentu, berdasarkan Pedoman Perencanaan Konstruksi Kayu.

Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1	Adukan, per cm tebal: - dari semen - dari kapur, semen merah atau tras	 21 17	 kg/m^2 kg/m^2
2	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	kg/m^2

Lanjutan Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
3	Dinding pasangan bata merah		
	- satu batu	450	kg/m^2
	- setengah batu	250	kg/m^2
4	Dinding pasangan batako:		
	Berlubang:		
	- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200	kg/m^2
	- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120	kg/m^2
	Tanpa Lubang:		
	- tebal dinding 15 cm	300	kg/m^2
	- tebal dinding 10 cm	200	kg/m^2
5	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:		
	- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11	kg/m^2
	- kaca, dengan tebal 3 – 5 mm	10	kg/m^2
6	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m^2	40	kg/m^2
7	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7	kg/m^2
8	Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m^2 bidang atap	50	kg/m^2
9	Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m^2 bidang atap	40	kg/m^2
10	Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa usuk	10	kg/m^2
11	Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24	kg/m^2
12	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11	kg/m^2

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (1987)

3.5.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang terjadi karena penggunaan struktur termasuk beban-beban yang bekerja pada lantai mulai dari benda-benda yang dapat dipindahkan atau berpindah sehingga menyebabkan penyesuaian pembebanan

lantai atau atap. Beban hidup yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Berat Hidup Pada Lantai Gedung

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam No. 2	200	kg/m^2
2	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125	kg/m^2
3	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250	kg/m^2
4	Lantai ruang olahraga	400	kg/m^2
5	Lantai ruang dansa	500	kg/m^2
6	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain daripada yang disebut dalam nomor 1, 4, 5 seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400	kg/m^2
7	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500	kg/m^2
8	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam No. 3	300	kg/m^2
9	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam No. 4, 5, 6, dan 7	500	kg/m^2
10	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam No, 3, 4, 5, 6, dan 7	250	kg/m^2
11	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400	kg/m^2
12	Lantai gedung parkir bertingkat: - untuk lantai bawah - untuk lantai tingkat lainnya	 800 400	 kg/m^2 kg/m^2
13	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300	kg/m^2

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (1987)

3.5.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah gaya atau beban yang ditimbulkan oleh gempa. Selama gempa, beban ini mengikuti efek gerakan tanah pada struktur. Spektrum respon adalah beban gempa yang digunakan dalam penelitian ini.

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.5.4, struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D, E, atau F minimal harus sesuai dengan persyaratan 7.5.3 bahwa pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya seismik pada struktur dianggap terpenuhi jika elemen struktur dan fondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban-beban yang ditetapkan berikut: 100% gaya untuk satu arah ditambah 30% gaya untuk arah tegak lurus. Kombinasi yang mensyaratkan kekuatan komponen maksimum harus digunakan.

Dalam perencanaan berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 8.3.1, kombinasi beban gempa harus disesuaikan dengan meninjau pengaruh gempa vertikal (E) sebagai berikut.

$$E = E_h + E_v \tag{3.1}$$

$$E = E_h - E_v \tag{3.2}$$

Keterangan:

E_h = pengaruh gempa horizontal

E_v = pengaruh gempa vertikal

Persamaan (3.1) digunakan untuk menambah pengaruh gaya desak, sedangkan persamaan (3.2) digunakan untuk menambah pengaruh gaya tarik. Nilai Eh dan Ev dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$E_h = \rho Q_E \tag{3.3}$$

$$E_v = 0{,}2 \times S_{DS} \times D \tag{3.4}$$

Keterangan:

ρ = faktor redundansi struktur

Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal dari distribusi beban V

D = pengaruh beban mati,

3.5.4 Kombinasi Pembebanan

Faktor-faktor untuk beban yang bekerja telah ditetapkan nilainya sesuai dengan kriteria pembebanan struktur gedung atau standar beton yang berlaku. Faktor tersebut kemudian dikombinasikan bertujuan untuk mendapatkan beban yang paling ekstrim. Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 4.2.2, kombinasi pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

a. $U = 1{,}4D$
b. $U = 1{,}2D + 1{,}6L$
c. $U = 1{,}2D + 1{,}0L + 1{,}0\ E_h + 0{,}3E_v$
d. $U = 1{,}2D + 1{,}0L + 1{,}0\ E_h - 0{,}3E_v$
e. $U = 1{,}2D + 1{,}0L - 1{,}0\ E_h + 0{,}3E_v$
f. $U = 1{,}2D + 1{,}0L - 1{,}0\ E_h - 0{,}3E_v$
g. $U = 1{,}2D + 1{,}0L + 0{,}3\ E_h + 1{,}0E_v$
h. $U = 1{,}2D + 1{,}0L + 0{,}3\ E_h - 1{,}0E_v$
i. $U = 1{,}2D + 1{,}0L - 0{,}3\ E_h + 1{,}0E_v$
j. $U = 1{,}2D + 1{,}0L - 0{,}3\ E_h - 1{,}0E_v$
k. $U = 1{,}0D + 0{,}5L$

Dimana:

U = kuat perlu
D = beban mati
L = beban hidup
E_v = beban gempa vertikal
E_h = beban gempa horizontal

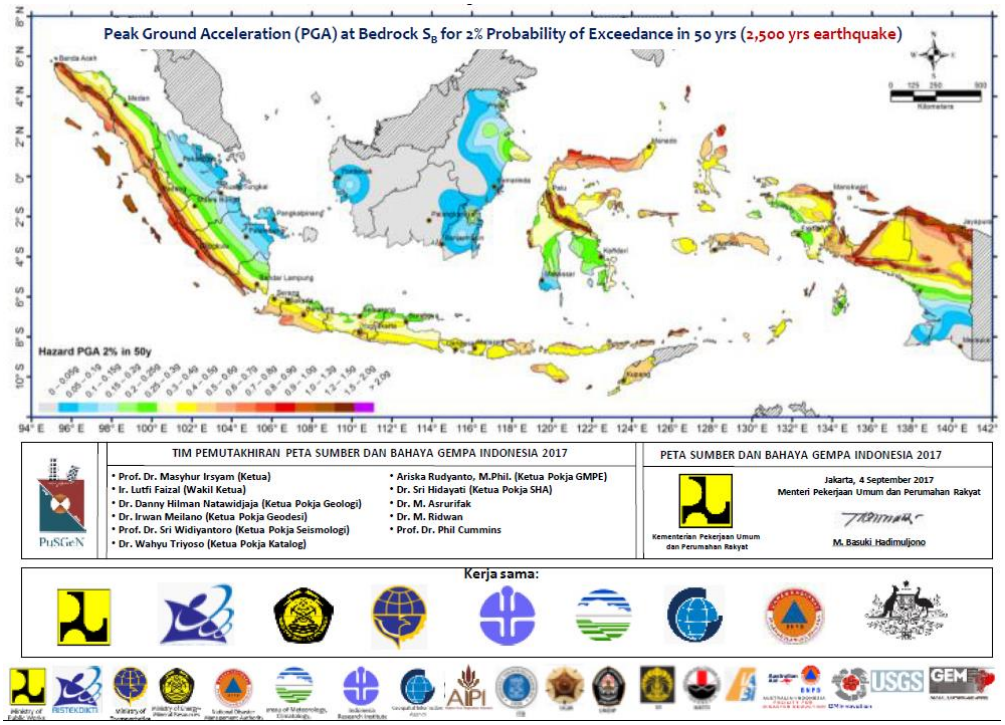
3.6 Ketentuan Umum Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI-1726-2019

Ketentuan umum perencanaan struktur bangunan gedung yang dipengaruhi oleh beban gempa pada tugas akhir ini disajikan sebagai berikut.

1. Peta Sebaran Gempa Indonesia

   Indonesia merupakan negara yang berada pada pertemuan lempeng tektonik, sehingga mengakibatkan Indonesia menjadi wilayah yang rawan terhadap

bencana terutama gempa bumi. Berikut merupakan peta sebaran gempa bumi di Indonesia yang berpengaruh pada penentuan tingkat risiko gempa suatu bangunan.



Gambar 3.2 Peta Sebaran Gempa Indonesia
(Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional, 2018)

2. Kategori Risiko Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

   Kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa diklasifikasi ke dalam 4 kategori berdasarkan jenis pemanfaatannya. Klasifikasi tersebut juga memiliki keterkaitan dengan risiko yang akan terjadi dan ditampilkan pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa	III

Lanjutan Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat	IV

Lanjutan Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Sumber: SNI 1726 (2019)

3. Faktor Keutamaan Gempa

Berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung yang dipengaruhi oleh gempa rencana maka harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa seperti yang ditujukan pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726 (2019)

4. Prosedur Klasifikasi Situs Desain Seismik

Metode untuk memberikan kriteria desain seismik dalam bentuk faktor-faktor implifikasi pada bangunan dijelaskan dalam klasifikasi situs. Penting untuk mengklasifikasikan lokasi atau situs saat merumuskan kriteria desain seismik untuk bangunan di permukaan tanah atau menentukan besarnya amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai100

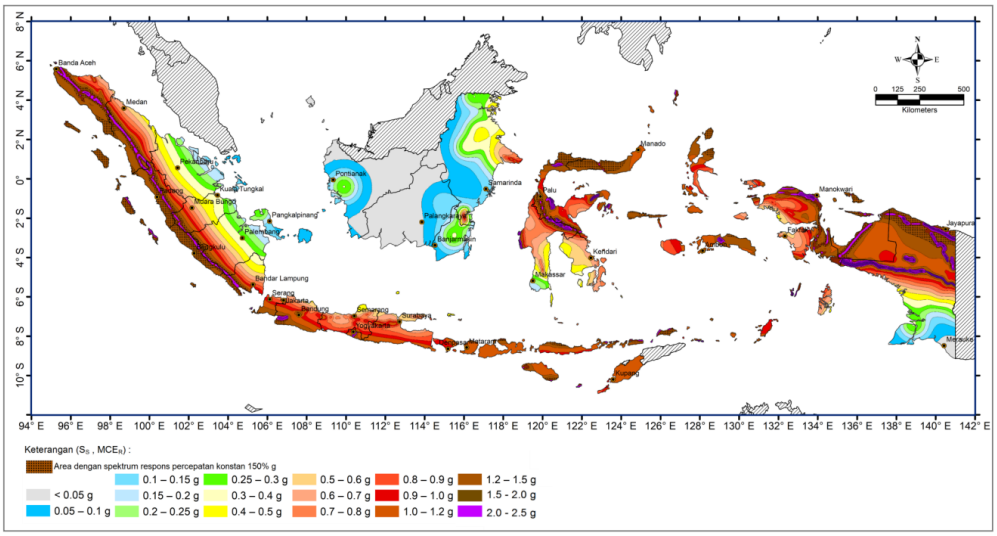
Lanjutan Tabel 3.6 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m). - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plasitisitas) PI > 75) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa.		

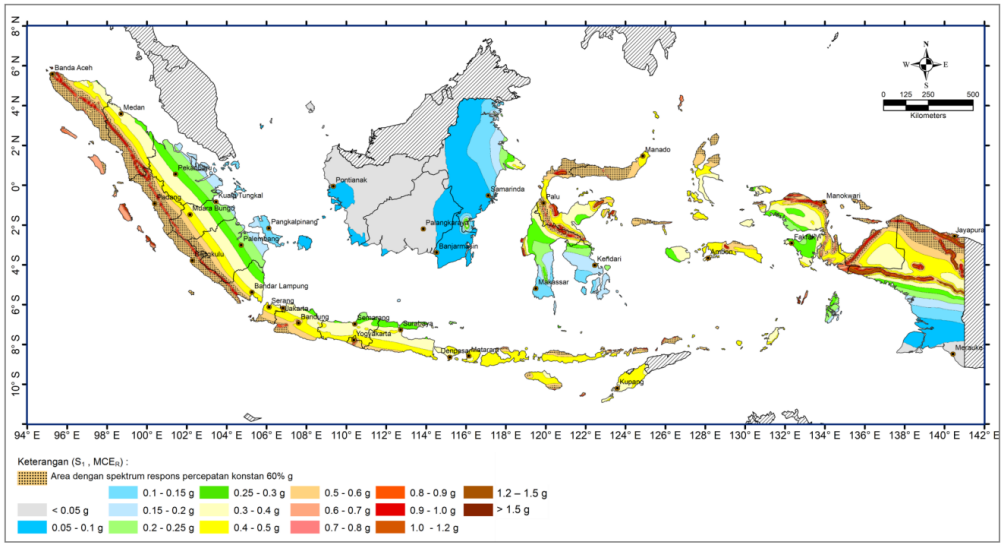
Sumber: SNI 1726 (2019)

5. Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral

Nilai dari respon spektra di tiap daerah memiliki perbedaan akibat dari kejadian gempa antara satu daerah dengan daerah lainnya yang berbeda. Dalam melakukan penentuan respons spektral percepatan gempa di permukaan tanah pada bangunan gedung, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik (S_s) dan periode 1 detik (S_1). Nilai tersebut ditujukan dengan peta gempa sesuai SNI 1726-2019 pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.3 Peta Respon Spektral Percepatan Periode 0,2 Detik (S_s)
(Sumber: SNI 1726-2019)



Gambar 3.4 Peta Respon Spektral Percepatan Periode 1 Detik (S_1)
(Sumber: SNI 1726-2019)

Dalam menentukan parameter respons spektra percepatan gempa di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik (*Fa*) dan periode 1 detik (*Fv*) yang bisa didapatkan dari hubungan percepatan gempa dengan kelas situs yang dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.7 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S_s					
	$S_s \leq 0{,}25$	$S_s = 0{,}5$	$S_s = 0{,}75$	$S_s = 1{,}0$	$S_s = 1{,}25$	$S_s = 1{,}5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber: SNI 1726 (2019)

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- $SS^{(a)}$ = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 3.8 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 1,0 detik, S_1					
	$S_s \leq 0{,}25$	$S_s = 0{,}5$	$S_s = 0{,}75$	$S_s = 1{,}0$	$S_s = 1{,}25$	$S_s = 1{,}5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber: SNI 1726 (2019)

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- $SS^{(a)}$ = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Parameter respons spektrum percepatan pada permukaan tanah dapat diketahui dengan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6 berikut.

$S_{MS} = F_a \, . \, S_s$ (3.5)

$S_{M1} = F_v \, . \, S_1$ (3.6)

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 1,0 detik

Pada perancangan nilai respons spektrum desain dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.7 dan Persamaan 3.8 berikut.

$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$ (3.7)

$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$ (3.8)

Keterangan:

S_{MS} = parameter spektral desain perioda pendek

S_{M1} = parameter spektral desain perioda 1 detik

6. Kategori Desain Seismik

Suatu struktur bangunan harus memiliki Kategori Desain Seismik dengan ketentuan sebagai berikut.

a. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang memiliki nilai $S_1 \geq 0{,}75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E.
b. Struktur dengan kategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik dan memiliki nilai $S_1 \geq 0{,}75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Jika $S_1 \leq 0{,}75$ maka kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan berdasarkan pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0{,}167$	A	A
$0{,}167 \leq S_{DS} < 0{,}33$	B	C
$0{,}33 \leq S_{DS} < 0{,}50$	C	D
$0{,}50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726 (2019)

Tabel 3.10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0{,}067$	A	A
$0{,}067 \leq S_{D1} < 0{,}133$	B	C
$0{,}133 \leq S_{D1} < 0{,}20$	C	D
$0{,}20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726 (2019)

7. Definisi Persyaratan Kategori Desain Seismik
   a. Kategori Desain Seismik A dan B

      Struktur bangunan dengan kategori desain seismik A dan B direncanakan desain minimal dengan menggunakan peraturan pada acuan desain Struktur Momen Pemikul Momen Biasa (SMPMB) atau Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB).
   b. Kategori Desain Seismik C

      Struktur bangunan dengan kategori desain seismik C direncanakan desain minimal dengan menggunakan peraturan pada acuan desain Struktur Momen Pemikul Momen Menengah (SMPMM) atau Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB).
   c. Kategori Desain Seismik D

      Struktur bangunan dengan kategori desain seismik D direncanakan desain minimal dengan menggunakan peraturan pada acuan desain Struktur Momen Pemikul Momen Khusus (SMPMK) atau Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK).

d. Kategori Desain Seismik E dan F

Struktur bangunan dengan kategori desain seismik E dan F direncanakan desain dengan mengikuti peraturan yang diisyaratkan pada kategori desain seismik D.

Klasifikasi kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik

Tingkat Risiko Kegempaan	Kategori Desain Seismik	Syarat
Rendah	A dan B	SRPM B/M/K SDS B/K
Menengah	C	SRPM M/K SDS B/K
Tinggi	D, E, dan F	SRPM K SDS K

Sumber: SNI 1726 (2019)

Keterangan:

SRPM = Sistem Rangka Pemikul Momen

SDS = Sistem Dinding Struktur

B/M/K = Biasa/Menengah/Khusus

8. Spektrum Respons Desain

Berdasarkan SNI 1726-2019 dinyatakan ketika spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 3.5 da mengikuti ketentuan berikut.

a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0, spektrum respons percepatan desain S_a, harus diambil dari persamaan berikut.

$$S_a = S_{DS}\left(0{,}4 + 0{,}6\,\frac{T}{T_0}\right) \quad (3.9)$$

b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s, spektruk respons percepatan desain S_a, sama dengan S_{DS}.

c. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L, respons spektral percepatan desain S_a, diambil berdasarkan persamaan berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.10)$$

d. Untuk periode lebih besar dari T_L, respons spektral percepatan desain S_a, diambil berdasarkan persamaan berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}.T_L}{T^2} \quad (3.11)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

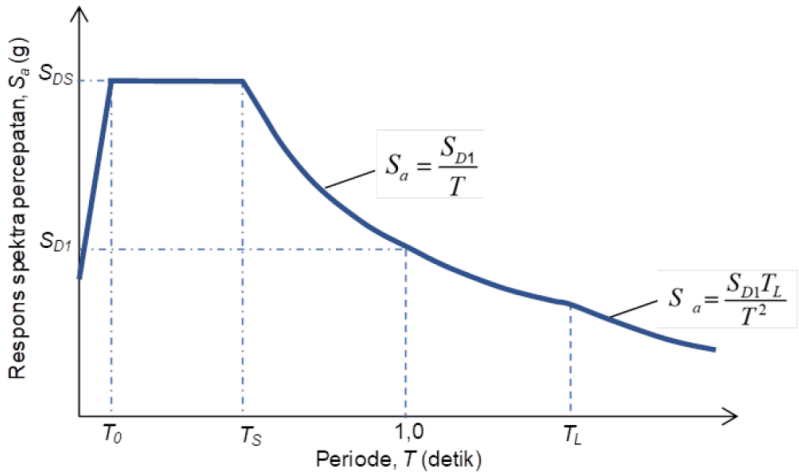
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

T_L = peta transisi periode panjang

$$T_0 = 0{,}2\ \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.12)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.13)$$



Gambar 3.5 Spektrum Respons Desain
(Sumber: SNI 1726-2019)

9. Parameter dan Pemilihan Sistem Struktur

Jika telah diketahui sistem pemikul gaya seismik pada struktur gedung yang akan didesain, selanjutnya dilakukan perhitungan beban lateral dengan mengacu pada 3 jenis faktor. Faktor tersebut diantaranya adalah faktori modifikasi respon (*R*), faktor kuat kebih sistem (Ω_0), dam faktor pembesaran defleksi (C_d). Nilai faktor tersebut dicontohkan pada Tabel 3.12 untuk Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen yang sering digunakan.

Tabel 3.12 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons R[a]	Faktor Kuat Lebih Sistem Ω_0[b]	Faktor Pembesaran Defleksi C_d[c]	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)[d]				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem Rangka Pemikul Momen								
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI 1726 (2019)

Keterangan:

[a] = koefisien modifikasi, R, untuk penggunaan pada keseluruhan standar. Nilai R mereduksi gaya ke level kekuatan bukan pada level tegangan izin.

[b] = jika nilai pada tabel faktor kuat lebih, Ω_0, lebih besar atau sama dengan 2,5, maka Ω_0 diizinkan untuk direduksi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.

[c] = faktor pembesaran simpangan lateral, Cd, untuk penggunaan dalam 0, 0, dan 0

[d] = TB: tidak dibatasi dan TI: tidak diizinkan

10. Penentuan Periode

Periode fundamental struktur (*T*) dapat diketahui berdasarkan hasil analisis struktur yang dilakukan. Berdasarkan SNI 1726-2019 diatur juga terkait persyaratan bahwa periode fundamental yang digunakan sebagai perhitungan tidak boleh melebihi dari batas atas periode fundamental pendekatan yang didapat dari perkalian antara koefisien periode batas atas (C_u) dengan periode pendekatan (T_a). Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung ditujukan pada Tabel 3.13 berikut.

Tabel 3.13 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain Pada 1 Detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

Sumber: SNI 1726 (2019)

Periode fundamental pendekatan (Ta), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.14)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan ^{x} di tentukan dari Tabel 3.14 berikut.

Tabel 3.14 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan ^{x}

Tipe Struktur	C_t	^{x}
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9

Lanjutan Tabel 3.14 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726 (2019)

11. Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019 gaya geser dasar seismik, *V*, dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 3.15 berikut.

$V = C_s W$ (3.15)

Keterangan:

V = gaya geser dasar seismik

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Nilai koefisien respons seismik (C_s) dapat ditentukan dengan Persamaan 3.16 berikut.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.16)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan Persamaan 3.16 tidak boleh melebihi berikut.

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.17)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.18)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0{,}044 S_{DS} I_e \geq 0{,}01 \quad (3.19)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana $S_1 \geq 0{,}6g$, maka C_s harus tidak kurang dari Persamaan 3.20 berikut.

$$C_s = \frac{0{,}5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.20)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode 1,0 detik

12. Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Distribusi gaya seismik lateral (F_x) pada setiap tingkat lantai dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.21 dengan koefisien faktor distribusi vertikal (C_{vx}) dengan Persamaan 3.22 berikut.

$$F_x = C_{vx} \, . V \tag{3.21}$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k} \tag{3.22}$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat *i* atau *x* (m)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat *i* atau *x*

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut.

- Untuk struktur dengan T ≤ 0,5 detik, k = 1
- Untuk struktur dengan T ≥ 2,5 detik, k = 2
- Untuk struktur dengan 0,5 < T < 2,5 detik, k = 2 atau ditetapkan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

3.7 Analisis Statik Non-Linier (*Pushover Analysis*)

Analisis statis nonlinier yang dikenal sebagai analisis *pushover* digunakan untuk memastikan perilaku kegagalan bangunan atau struktur. Perilaku keruntuhan

struktur akibat gempa, kurva hubungan geser dan perpindahan, kurva kapasitas, dan skema plastifikasi atau distribusi sendi plastis yang terjadi merupakan tujuan dari analisis pushover.

Analisis statik non linier dilakukan dengan menerapkan suatu pola beban lateral statik pada struktur, kemudian dilakukan peningkatan secara bertahap dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Metode *pushover* dilakukan dengan mendorong struktur sampai mengalami leleh di satu atau lebih lokasi pada struktur tersebut. Kemudian kurva kapasitas akan menunjukan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. Pada program SAP2000 sudah dilengkapi dengan kemampuan otomatis untuk melakukan analisis statik *pushover*.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 analisis beban dorong statik (*static pushover analysis*) merupakan suatu cara analisis statik 2 dimensi atau 3 dimensi linier dan non linear, dengan pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai.

3.8 Sendi Plastis

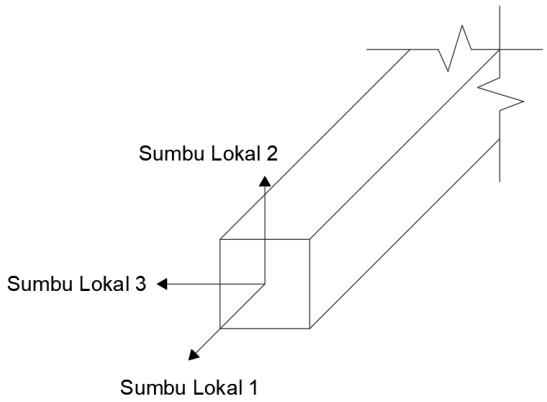
Sendi plastis adalah bentuk tidak mampunya elemen struktur balok dan kolom dalam menahan gaya dalam. Berdasarkan SNI 2847-2019 daerah sendi plastis merupakan elemen rangka dimana pelelehan lentur diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa. Struktur gedung ketika menerima beban gempa pada tingkatan atau kondisi tertentu, maka akan terjadi sendi plastis pada balok di suatu gedung (Mamesah dkk., 2014).

Perencanaan struktur suatu bangunan harus sesuai dengan konsep *Strong Column and Weak Beam* (SCWB). Jika terjadi kegagalan struktur hingga keruntuhan, maka komponen struktur yang terjadi keruntuhan lebih dulu yaitu balok. Apabila keruntuhan lebih dulu terjadi pada kolom, maka struktur akan langsung hancur. SCWB dapat dijadikan sebagai sinyal awal ketika struktur

bangunan mengalami kegagalan. Untuk memperoleh sendi plastis diperlukan tahapan sebagai berikut.

1. Sendi Plastis Propertis Balok

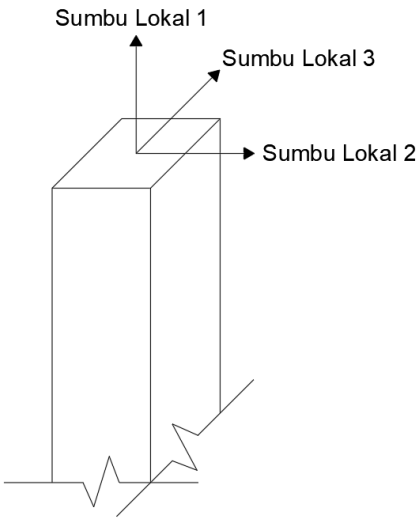
   Data propertis sendi plastis pada balok dimasukkan pada daerah penampang tumpuan balok yang merupakan lokasi terjadinya sendi plastis yang diharapkan. Tiap penampang balok dilakukan permodelan dengan pilihan model momen (M3), yang berarti sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Letak dari sumbu lokal 3 pada balok ditunjukan pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Letak Sumbu Lokal Balok Struktur Pada SAP2000

2. Sendi Plastis Propertis Kolom

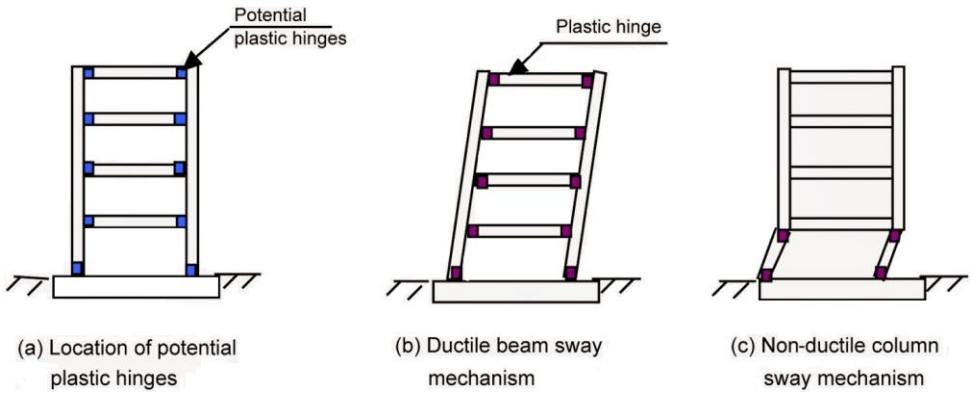
   Informasi properti sendi plastis kolom pada bagian ini adalah model P – M2 – M3, dan itu menyiratkan bahwa kolom plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P) dan momen (M2 – M3) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Setiap kolom pada gedung yang akan diteliti dalam hal ini memiliki momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3. Hal ini dikarenakan kolom-kolom tersebut berdimensi persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar merata pada keempat sisinya. Letak dari sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom ditunjukan pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Letak Sumbu Lokal Kolom Struktur Pada SAP2000

3. Penentuan Letak Sendi Plastis

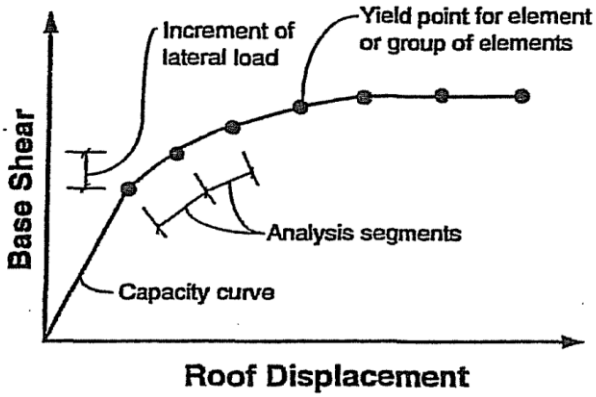
Penentuan letak terjadinya sendi plastis yang diharapkan dinyatakan dengan posisi a yang merupakan posisi awal dari panjang bersih balok dan posisi b merupakan posisi akhir dari panjang bersih balok. Kedua poisisi tersebut terletak di muka kolom. Begitu pula dengan kolom, posisi a merupakan posisi awal dari panjang bersih kolom dan posisi c merupakan posisi akhir dari panjang bersih kolom. Kedua posisi tersebut terletak pada muka balok. Skema sendi plastis pada balok dan kolom seperti ditunjukan pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Sendi Plastis yang Terjadi Pada Balok dan Kolom
(Sumber: Riza, M, 2015)

3.9 Kurva Kapasitas

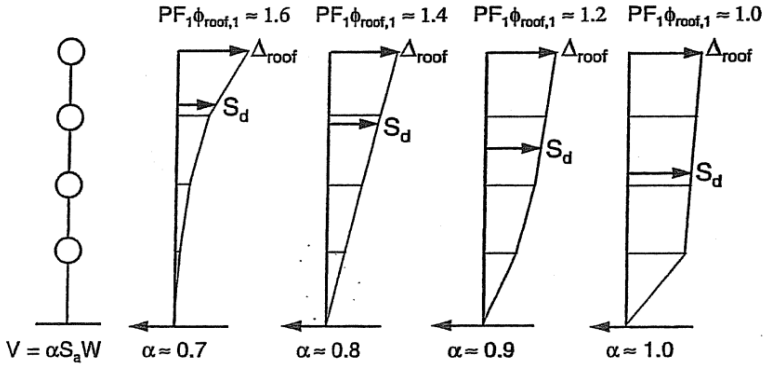
Kurva kapasitas merupakan gambaran kekuatan struktur yang besarnya bergantung pada kemampuan deformasi dari masing-masing komponen struktur. Hasil dari analisis statik *pushover* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*roof displacement*) seperti ditunjukan pada Gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Kurva Kapasitas
(Sumber: ATC-40 *Figure 8-1*, 1996)

1. Konversi Kurva Kapasitas Dalam Format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS)

   Untuk mengubah kurva kapasitas ke dalam format ADRS atau menjadi spektrum kapasitas maka perlu dikaitkan juga dengan hubungan faktor partisipasi modal, modal koefisien massa, dan perpindahan bangunan. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10 Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa
(Sumber: ATC-40 *Figure 8-5*, 1996)

Pada Gambar 3.10 dapat dipahami bahwa hubungan antara faktor partisipasi modal dan modal koefisien massa untuk tiap nilai simpangan antar lantai memiliki perbedaan di setiap bangunan. Langkah untuk mengubah kurva kapasitas ke format ADRS yaitu dengan menghitung nilai faktor partisipasi massa (FP_1), dan modal koefisien massa (α_1). Rumus yang digunakan dalam perhitungan ditunjukan pada Persamaan 3.23 dan Persamaan 3.24 berikut.

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(w_i \emptyset_{i1})/g}{\sum_{i=1}^{N}(w_i {\emptyset_{i1}}^2)/g}\right] \tag{3.23}$$

$$a = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N}(w_i \emptyset_{i1})/g\right]^2}{\left[\sum_{i=1}^{N}(w_i)/g\right]\left[\sum_{i=1}^{N}(w_i {\emptyset_{i1}}^2)/g\right]} \tag{3.24}$$

Keterangan:

PF_1 = faktor partisipasi modal pada mode pertama

α_1 = modal koefisien massa pada mode pertama

w_i/g = massa pada tingkat ke-i

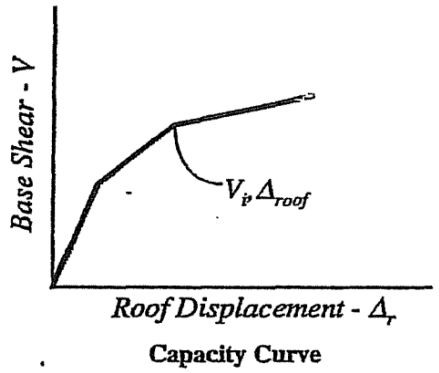
$\emptyset_{i1}$ = amplitude mode-1 pada tingkat ke-i

Selanjutnya setiap poin pada kurva kapasitas (V) dan (Δ_{roof}) dikonversi ke poin (S_a) dan (S_d). Kemudian dapat dilihat pada Persamaan 3.25 dan Persamaan 3.26 berikut.

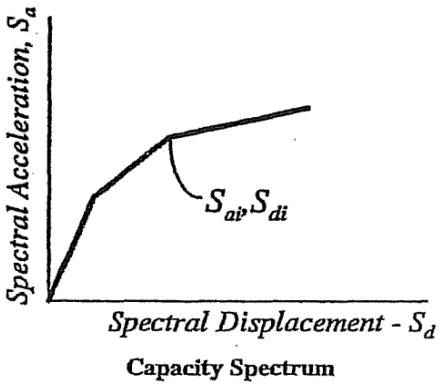
$$Sa = \frac{V/W}{a_1} \tag{3.25}$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \emptyset_{roof.1}} \tag{3.26}$$

Dari Persamaan 3.25 dan Persamaan 3.26 maka akan diperoleh spektrum kapasitas. Perubahan format kurva kapasitas ditunjukan pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.11 Perubahan Format Kurva Kapasitas Format Standar
(Sumber: ATC-40 *Page 8-12*, 1996)



Gambar 3.12 Perubahan Format Kurva Kapasitas Format ADRS
(Sumber: ATC-40 *Page 8-12*, 1996)

Mengubah respons spektrum ke format ADRS (S_a, S_d) menghasilkan *demand* spektrum yang biasanya dinyatakan dalam spektrum percepatan (S_a) dan periode (T). Program SAP2000 menyertakan metode khusus untuk mengonversi kurva kapasitas ke dalam format spektrum kapasitas, dan konversi ADRS dilakukan secara otomatis.

2. Konversi Kurva Respon Spektrum (*demand spectrum*) ke Format ADRS

   Untuk mengubah respon spektrum ke format ADRS dapat dilakukan perhitungan dengan Persamaan 3.27 atau Persamaan 3.28 berikut.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a(g) \tag{3.27}$$

   atau

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \tag{3.28}$$

   Keterangan:

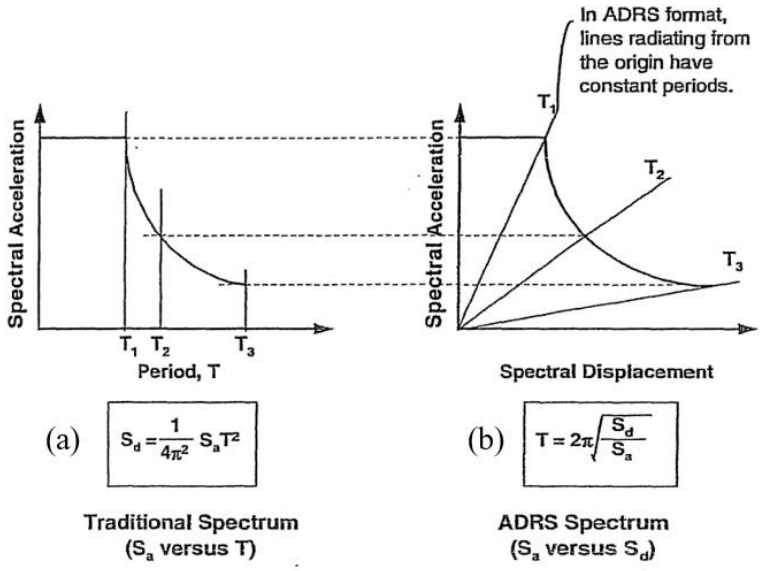
   S_a = spektra percepatan atau *spectral acceleration* (m)

   S_d = spektra perpindahan atau *spectral displacement* (g)

   g = percepatan gravitasi (9,81 m/s^2)

   T = periode getar fundamental (dt)

   Sehingga hasil kurva *demand* spektrum dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.13 Perubahan Respon Spektra. (a) Respon Spektra Format Standar, (b) Respon Spektra Format ADRS

(Sumber: ATC-40 *Figure 8-6*, 1996)

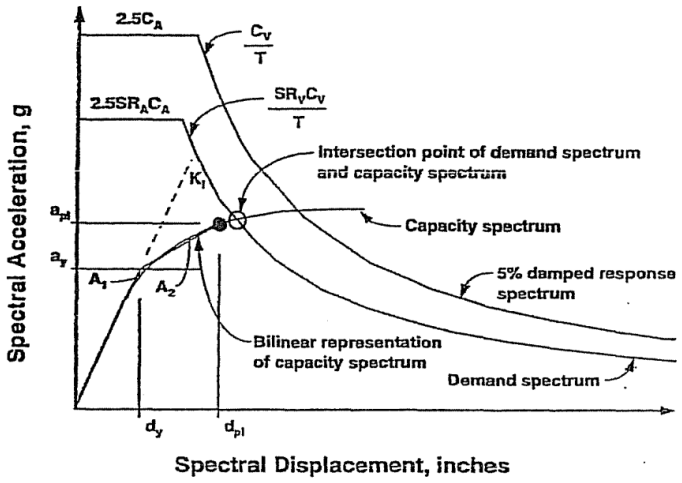
Konversi kurva kapasitas dan kurva respon spektrum ke format ADRS sudah dihitung secara otomatis oleh program SAP2000, yang perlu dilakukan yaitu memasukkan data untuk membuat respon spektrum.

3.10 Titik Kinerja (*Performance Point*)

Titik kinerja atau *performance point* merupakan titik yang diperoleh dari perpotongan antara *demand spectrum* dengan *capacity spectrum*. Maka titik kinerja merupakan suatu keadaan atau representasi dari dua keadaan yaitu:

1. Karena terletak pada spektrum kapasitas, merupakan representasi kekuatan struktur pada suatu nilai perpindahan tertentu.
2. Karena terletak pada kurva *demand,* menunjukkan bahwa kekuatan struktur dapat memenuhi *demand* beban yang diberikan.

Pada *performance point* dapat diketahui nilai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Dalam melakukan penentuan nilai *performance point* perlu dilakukan iterasi secara otomatis dengan program SAP2000. Kurva penentuan *performance point* ditunjukan pada Gambar 3.14 berikut.



Gambar 3.14 Kurva Penentuan *Performance Point*
(Sumber: ATC-40 *Figure 8-28,* 1996)

3.11 Batasan Deformasi (*Drift*) Menurut ATC-40

Deformasi lateral pada saat *performance point* harus diperiksa terhadap batasan deformasi yang ditetapkan dalam ATC-40, 1996. Batasan deformasi pada berbagai tingkat kinerja dapat dilihat pada Tabel 3.15 berikut.

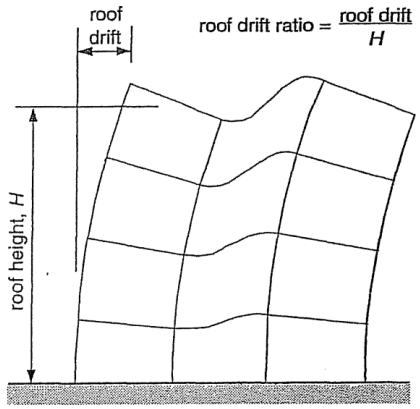
Tabel 3.15 Batasan Deformasi

Interstory Drift Limit	*Performance Level*			
	Immediate Occupancy	*Damage Control*	*Life Safety*	*Structural Stability*
Maximum Total Drift	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0{,}33\frac{V_i}{P_i}$
Maximum Inelastic Drift	0,005	0,005 – 0,015	*No Limit*	*No Limit*

Sumber: ATC-40 *Table 11-2* (1996)

Berdasarkan Tabel 3.15 ditunjukan bahwa simpangan total maksimum (*maximum total drift*) merupakan simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada titik kinerja (*performance point displacement*) atau nilai simpangan maksimum pada atap ketika *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap.

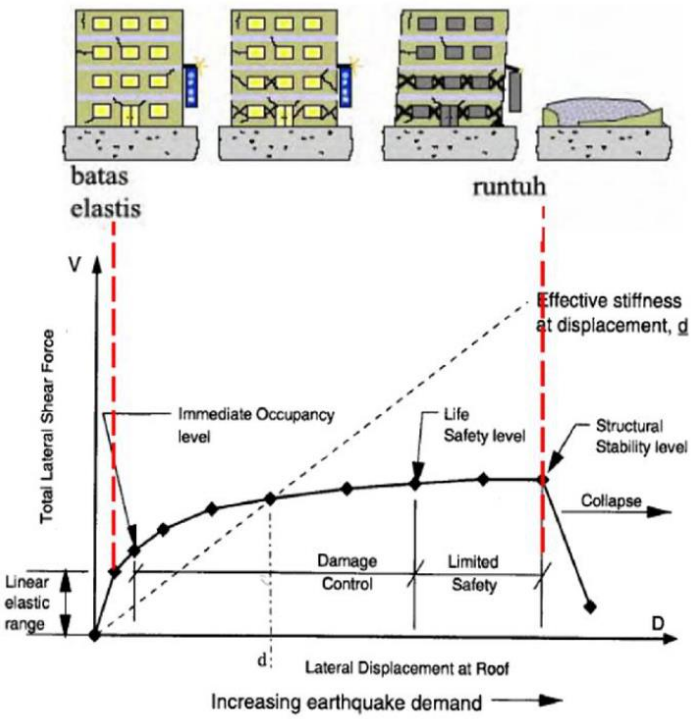
Maximum inelastic drift merupakan proporsi simpangan total maksimum di luar titik leleh efektif sehingga dapat diartikan bahwa *maximum inelastic drift* adalah nilai simpangan maksimum pada atap ketika *performance point* dikurangi dengan *displacement* pada pelelehan pertama dibagi dengan tinggi total bangunan.



Gambar 3.15 Simpangan Pada Atap dan Rasio Simpangan Pada Atap
(Sumber: ATC-40 *Page 11-5*, 1996)

3.12 Level Kinerja Struktur Metode ATC-40

Menurut ATC-40, ada beberapa tingkatan kinerja yang ditunjukkan pada kurva hubungan antara perpindahan horizontal (lateral) dan besarnya gaya bekerja atau kurva kapasitas. Kurva kapasitas menggambarkan bagian dari gaya geser dasar total karena gempa (*V*) pada struktur, pada peningkatan beban yang berbeda dan perpindahan lateral struktur di atap pada tingkat kekuatan lateral tertentu. Ilustrasi keruntuhan gedung rekayasa gempa berbasis kinerja dapat dilihat pada Gambar 3.16 berikut.



Gambar 3.16 Ilustrasi Keruntuhan Gedung Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja

(Sumber: ATC-40 *Figure 6-2*, 1996)

Pada Gambar 3.16, simbol (♦) pada kurva kapasitas mewakili kejadian-kejadian penting selama respon lateral terhadap struktur. Kejadian penting tersebut meliputi pelelehan pertama pada salah satu elemen struktur atau kerusakan tertentu seperti pecahnya selimut beton pada kolom hingga keruntuhan total pada sistem.

Pada Gambar 3.14 diketahui bahwa kurva kapasitas suatu struktur terhadap beban horizontal (lateral) dipisahkan menjadi tingkat kinerja tertentu. Kategori bangunan yang diizinkan untuk tingkat kinerja tertentu dan kondisi bangunan setelah gempa dapat digunakan untuk mendeskripsikan dan menggambarkan tingkat kinerja. Kondisi bangunan setelah terjadi gempa dan kategori bangunan pada tingkat kinerja struktur dapat dilihat pada Tabel 3.16 berikut.

Tabel 3.16 Kondisi Bangunan Pasca Gempa Berdasarkan Tingkat Kinerja

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
SP-1 Immediate Occupancy (IO)	Ketika terjadi gempa bangunan aman, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti dan bangunan dapat segera difungsikan kembali.	Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya, atau struktur bangunan yang mempengaruhi ekonomi nasional. Seperti rumah sakit, gudang bahan bakar, dan bangunan objek vital nasional.
SP-2 Damage Control (DC)	Merupakan transisi antara *SP-1* dan *SP-3*. Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa manusia sangat kecil.	Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga.
SP-3 Life Safety (LS)	Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (risiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non struktural.	Fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, gudang, dan sebagainya
SP-4 Limiter Safety	Merupakan transisi antara *SP-3* dan *SP-5*. Bukan merupakan tingkatan serta tidak	-

Lanjutan Tabel 3.16 Kondisi Bangunan Pasca Gempa Berdasarkan Tingkat Kinerja

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
	memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca gempa.	
SP-5 Structural Stability (SS)	Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang.	-
SP-6 Not Considered	Bukan merupakan tingkatan kinerja struktur, tetapi hanya untuk melakukan evaluasi seismik non struktural atau retrofit.	-

Sumber: ATC-40 (1996)

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dilakukan berada di Balikpapan Selatan, Provinsi Kalimantan Timur. Objek penelitian merupakan bangunan Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm*. Gedung tersebut berada di Jalan Letkol Pol. H. M. Asnawi Arbain. Lokasi penelitian gedung ini ditunjukan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian
(Sumber: *Google Earth Pro*, 2022)

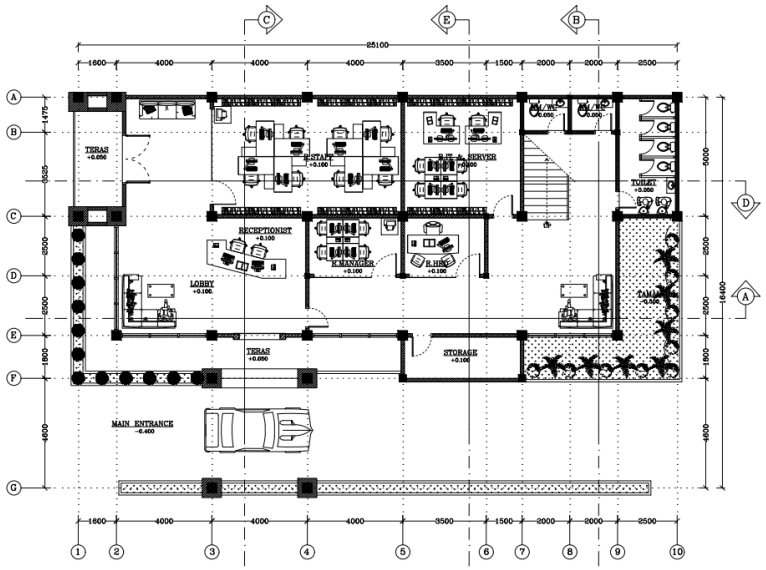
4.2 Pengumpulan Data

Data Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* harus dikumpulkan sebelum penelitian, diantaranya sebagai berikut.

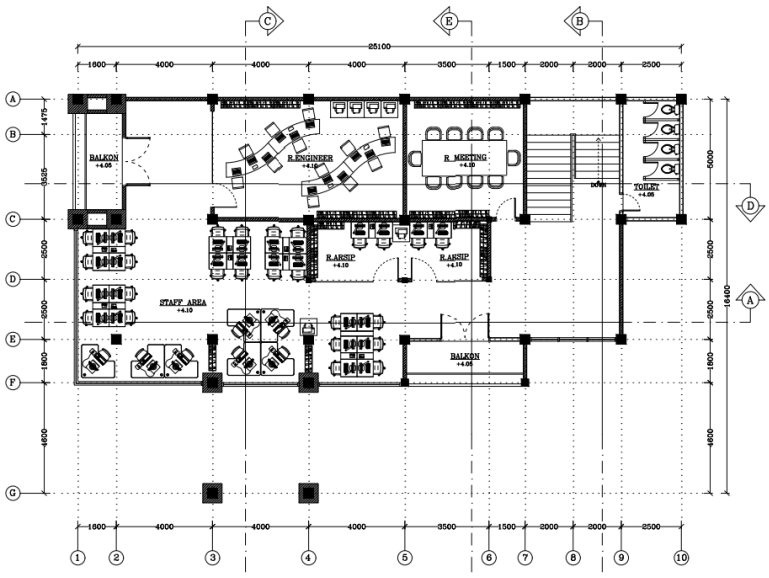
1. Gambar kerja,
2. Deskripsi umum bangunan,
3. Deskripsi umum struktur,
4. Mutu bahan, dan
5. Keadaan Tanah

4.2.1 Gambar Kerja

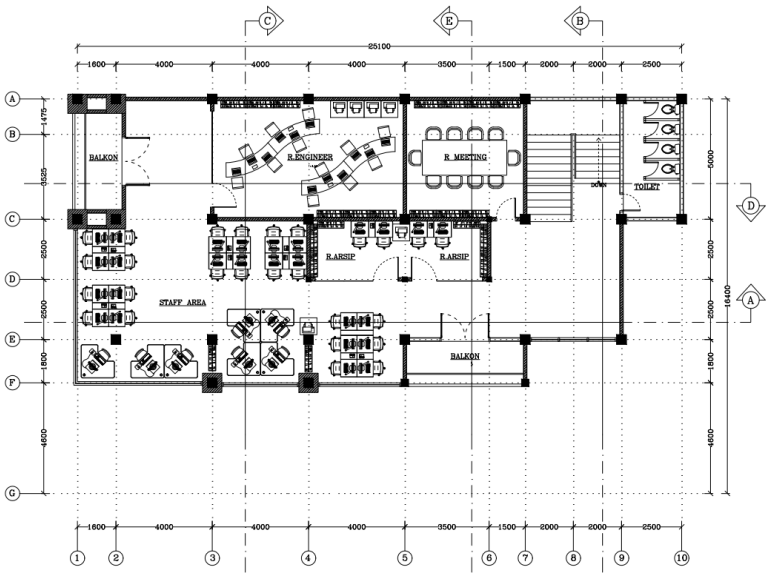
Gambar kerja Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* setiap lantai dan fungsi dapat dilihat pada Gambar 4.2 sampai Gambar 4.7 sebagai berikut.



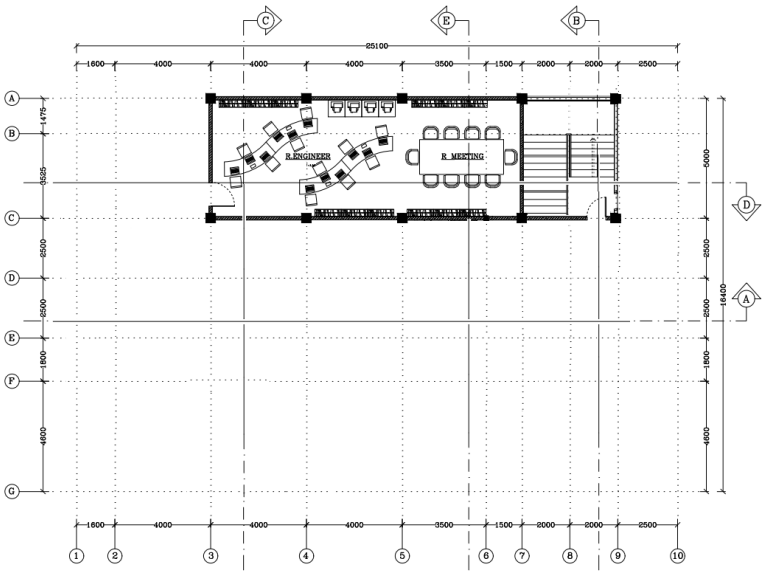
Gambar 4.2 Denah Lantai 1
(Sumber: Data Sekunder, 2022)



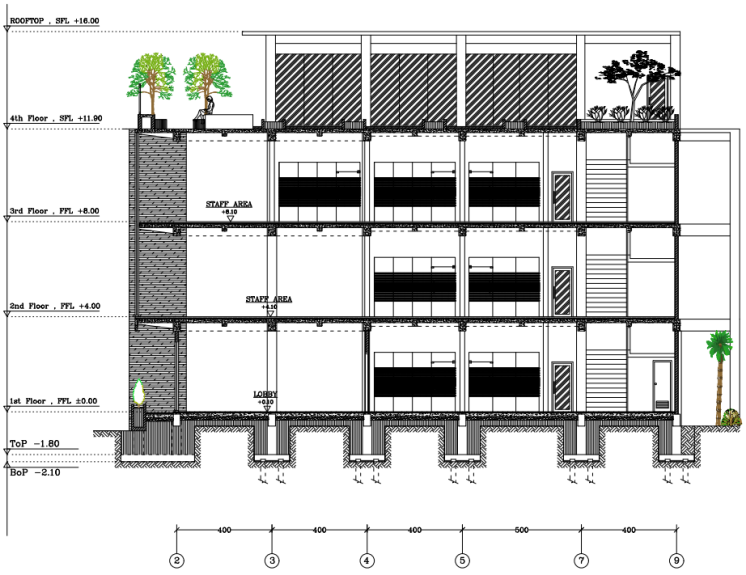
Gambar 4.3 Denah Lantai 2
(Sumber: Data Sekunder, 2022)



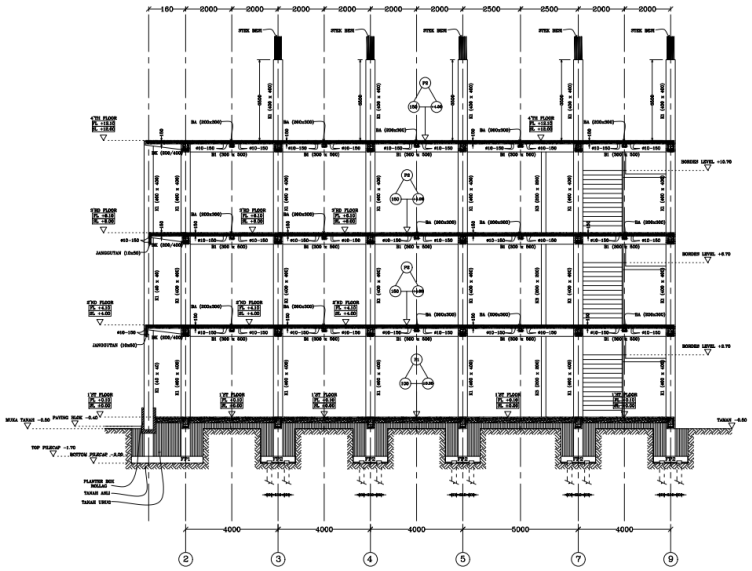
Gambar 4.4 Denah Lantai 3
(Sumber: Data Sekunder, 2022)



Gambar 4.5 Denah Lantai 4
(Sumber: Data Sekunder, 2022)



Gambar 4.6 Potongan A-A Menyeluruh
(Sumber: Data Sekunder, 2022)



Gambar 4.7 Potongan A-A Struktural
(Sumber: Data Sekunder, 2022)

4.2.2 Deskripsi Umum Bangunan

Penggunaan bangunan, tinggi, bentuk, dan jumlah lantai semuanya termasuk dalam deskripsi umum bangunan. Pemanfaatan struktur yang diteliti adalah untuk perkantoran sebagai tempat usaha dengan nama Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* dengan tinggi struktur 16 meter dan memiliki 4 lantai. Bangunan yang diselidiki memiliki bentuk yang tidak beraturan (bentuk *irregularity building)*.

4.2.3 Deskripsi Umum Struktur

Gedung gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* yang memiliki struktur terbuat dari beton menjadi bahasan pada penelitian ini.

4.2.4 Mutu Bahan

Mutu material menggabungkan sifat material dan sifat baja bangunan yang digunakan. Nilai kualitas tinggi dan kualitas baja pendukung digunakan untuk merencanakan dan menilai struktur bangunan. Beton yang digunakan untuk proyek ini memiliki mutu K-300 yang sama dengan f'c 24,90 MPa. Sedangkan mutu baja

tulangan yang digunakan dalam pelaksanaan yaitu mutu baja ulir sebesar *fy* = 400 MPa dan mutu baja polos sebesar *fy* = 320 MPa.

4.2.5 Keadaan Tanah

Keadaan tanah pada daerah penelitian adalah tanah lunak (E), sehingga kisaran respon spektrum yang digunakan dalam perhitungan getaran gempa adalah respon spektrum untuk jenis tanah lunak.

4.3 Program dan *Software* yang Digunakan

Pada penelitian ini digunakan sistem pemrograman yang berfungsi untuk membantu proses pelaksanaan penelitian agar mempermudah dalam menyelesaikan masalah. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. SAP2000, program ini akan digunakan untuk alat permodelan struktur bangunan dan analisis struktur bangunan.
2. Microsoft Excel, data keluaran program SAP2000 akan dihitung dan dianalisis dengan program ini.
3. AutoCad, program ini akan digunakan untuk menggambar denah, potongan, dan detail struktur.

4.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu melalui tahapan sebagai berikut.

1. Studi Literatur

   Pada tahapan studi literatur dilakukan melalui berbagai sumber seperti dokumen tugas akhir, jurnal, serta buku atau referensi lain yang berkaitan dengan *static pushover analysis*. Dokumen peraturan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini mengacu pada dokumen SNI dan PPPURG, yang diantaranya yaitu SNI-1726-2019 untuk perencanaan bangunan tahan gempa, SNI-2847-2019 untuk persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, SNI-1727-2020 untuk beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung, dan PPPURG 1987 (Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung).

2. Pengumpulan Data

   Pengumpulan data diperoleh berupa dokumen *Masterplan & Shop Drawing* bangunan *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm*. Dokumen tersebut akan digunakan sebagai acuan permodelan bangunan dalam bentuk 3D yang kemudian akan dianalisis menggunakan *software* SAP2000.

3. Permodelan 3D

   Permodelan 3D dikerjakan menggunakan *software* SAP2000. Permodelan bangunan berupa portal *open frame*, yang berarti hanya struktur bangunan yang dimodelkan dalam permodelan struktur 3D. Asumsi lain permodelan 3D pada gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* yaitu permodelan balok dan kolom dimodelkan sebagai *frame*, pelat lantai dimodelkan sebagai *shell-thin*.

4. Perhitungan Pembebanan

   Perhitungan pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan dikerjakan juga dengan bantuan *software* SAP2000. Beban yang bekerja pada struktur meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa dimasukkan dalam program SAP2000 yang kemudian dianalisis terhadap struktur gedung.

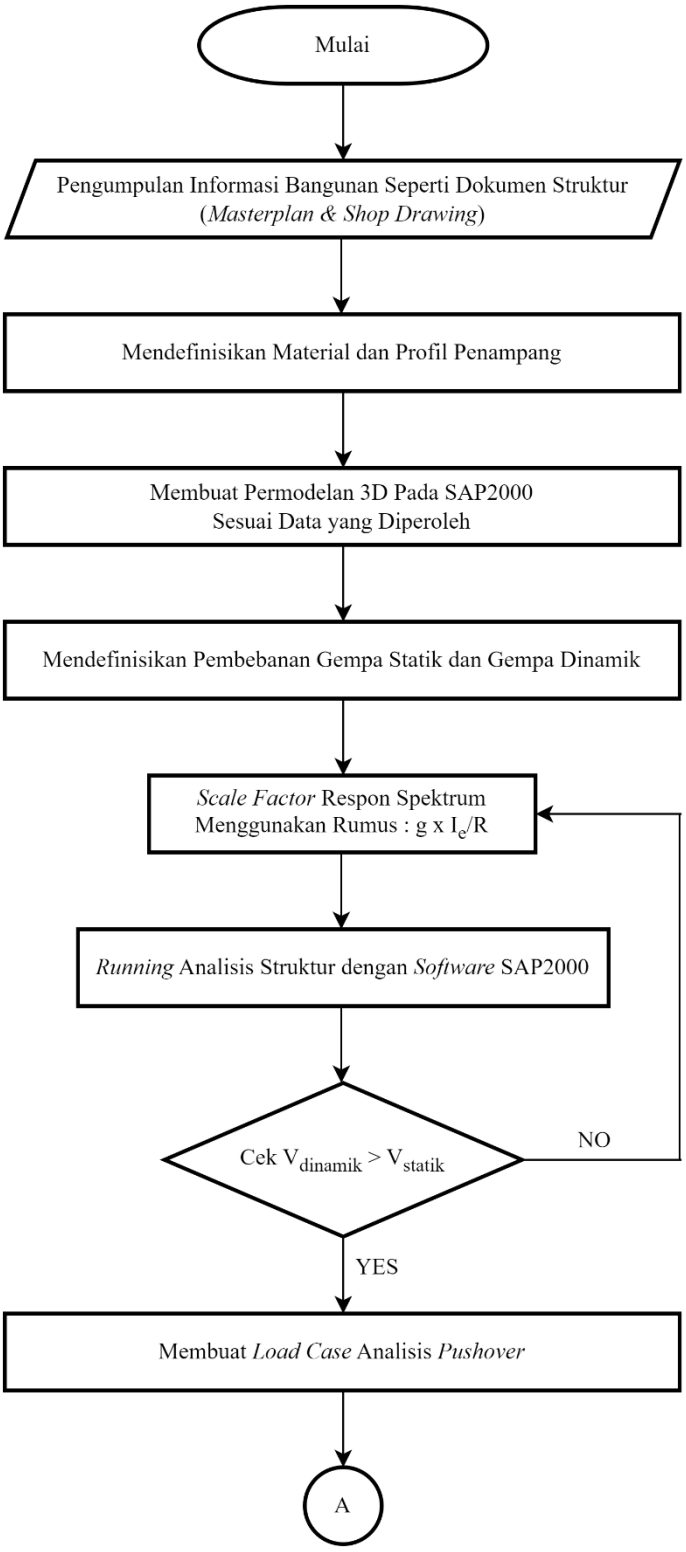
5. Analisis *Static Pushover*

   Analisis *static pushover* dilakukan menggunakan program *software* SAP2000 dengan tahapan yang mengacu pada dokumen ATC-40 *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Luaran dari hasil analisis *static pushover* yaitu berupa nilai *drift*, *displacement*, dan kurva kapasitas yang kemudian akan digunakan dalam menentukan *performance point* dan level kinerja dari bangunan.

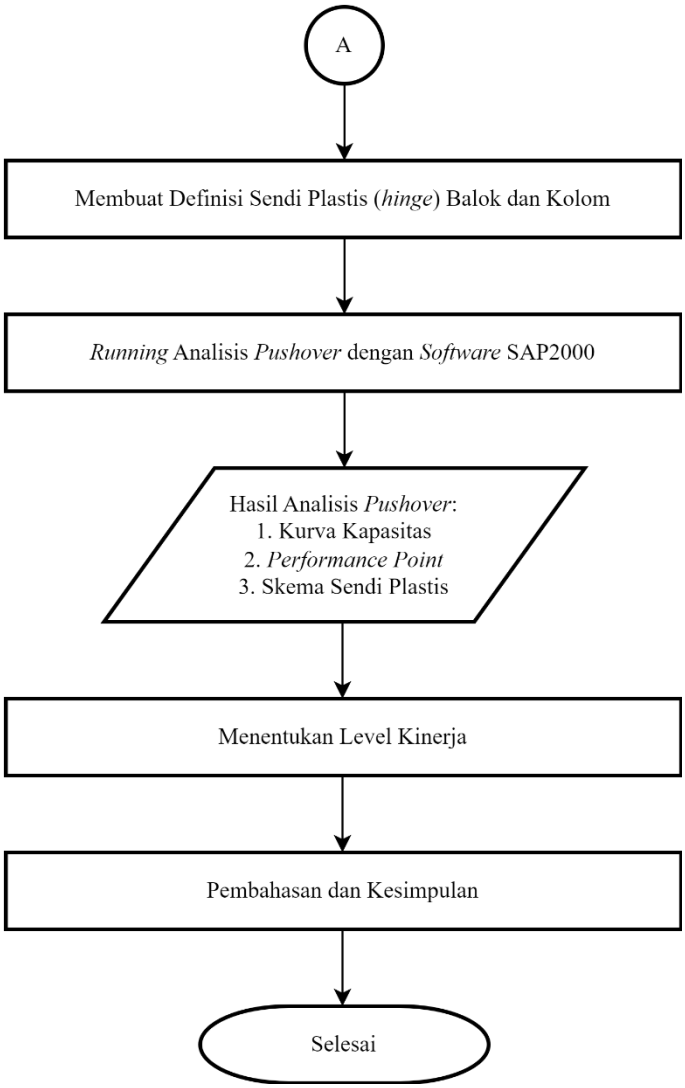
6. Membuat Kesimpulan Hasil Analisis

   Hasil dari penelitian kemudian akan disajikan dalam bentuk sederhana sebagai kesimpulan dari analisis penelitian dalam tugas akhir.

Tahapan penelitian secara ringkas dapat dilihat pada diagram alir yang ditujukan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.8 Diagram Alir Tahapan Prosedur Penelitian

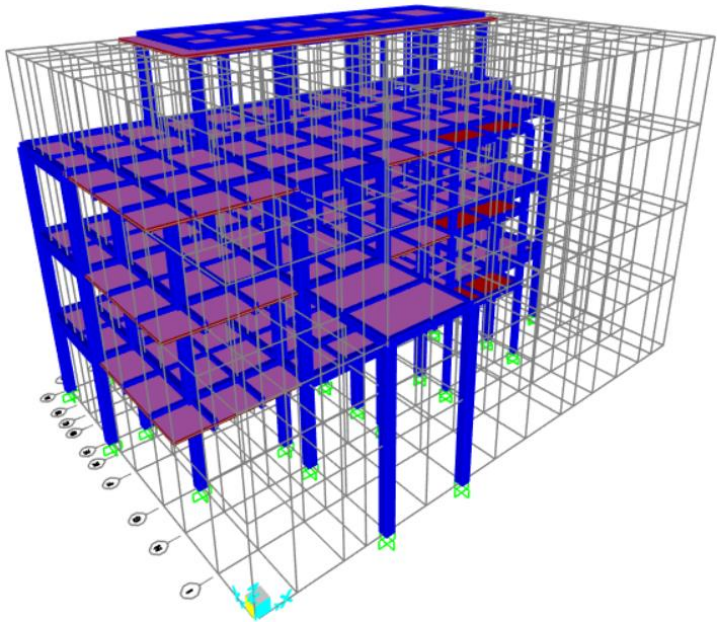


Gambar 4.9 Lanjutan Diagram Alir Tahapan Prosedur Penelitian

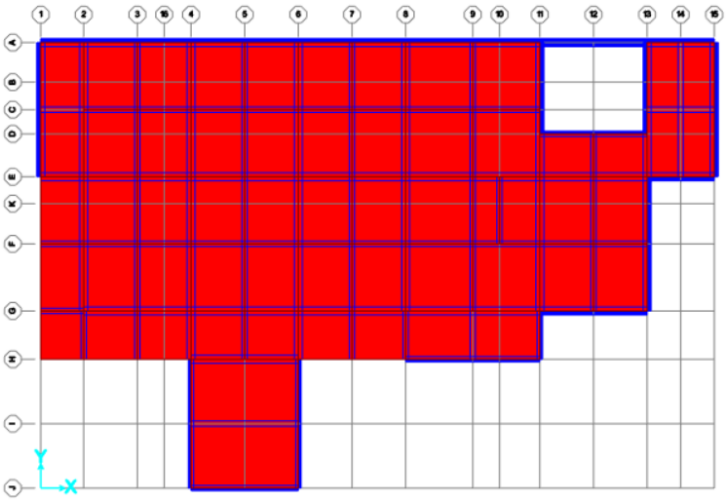
BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Permodelan Struktur

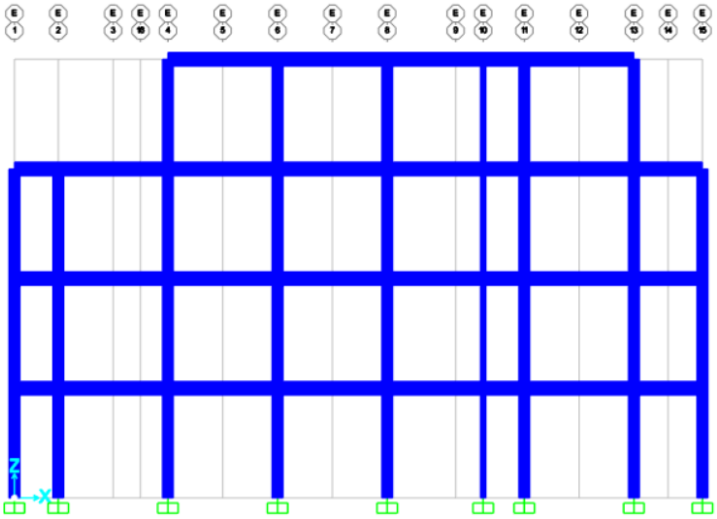
Permodelan struktur dilakukan dengan bantuan *software* SAP2000 dengan menggambar semua elemen kolom, balok, dan pelat. Gambar permodelan gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.4 berikut.



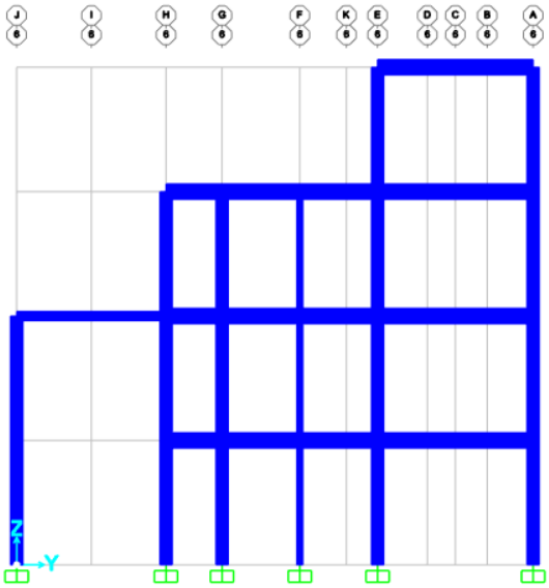
Gambar 5.1 Tampak 3D Gedung Perkantoran



Gambar 5.2 Tampak X-Y Gedung Perkantoran



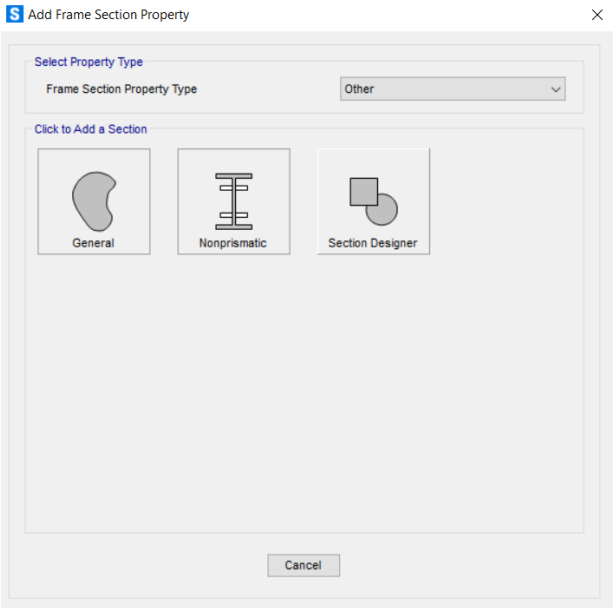
Gambar 5.3 Tampak X-Z Gedung Perkantoran



Gambar 5.4 Tampak Y-Z Gedung Perkantoran

5.2 Permodelan Menggunakan *Section Designer*

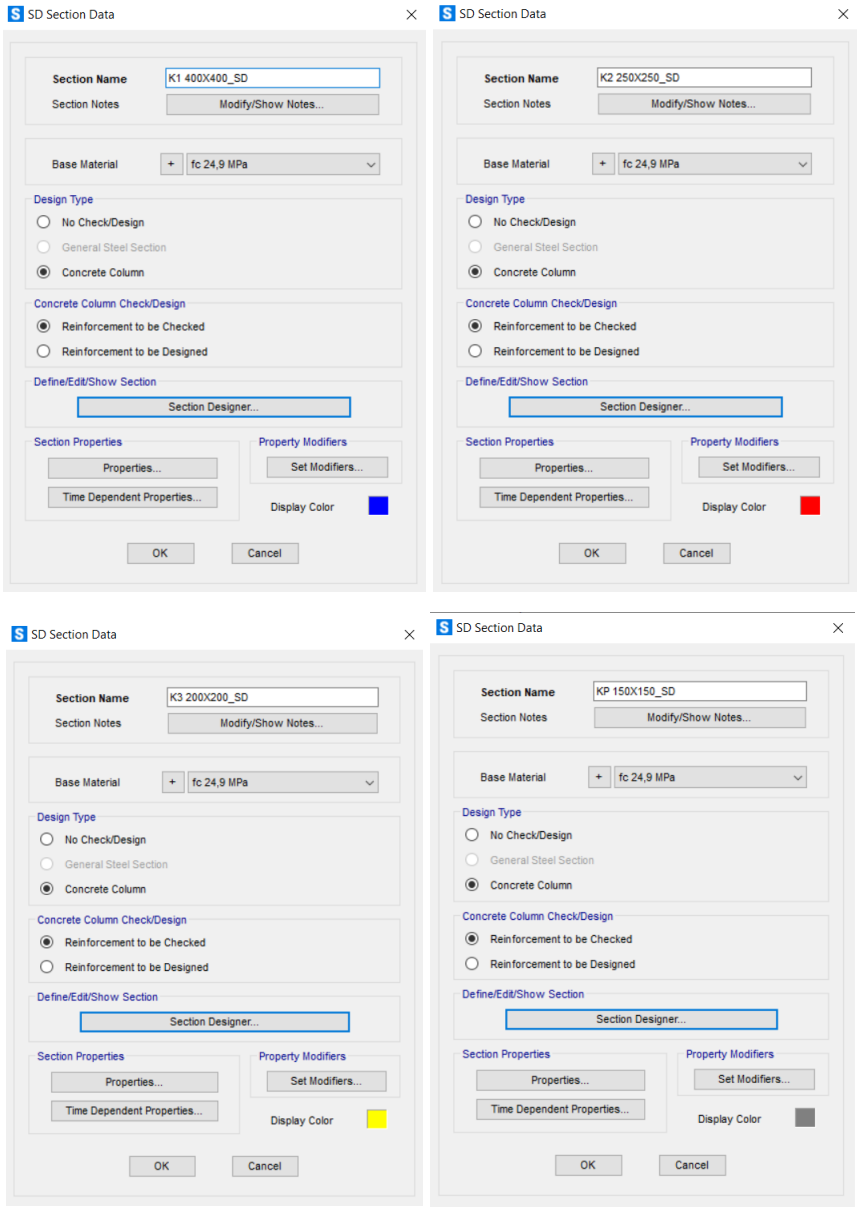
Pemodelan elemen dilakukan dengan tahapan klik *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property – Frame Section Property Type: Other – Section Designer*. Tampilan dari *Add Frame Section Property* dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 *Add Frame Section Property*

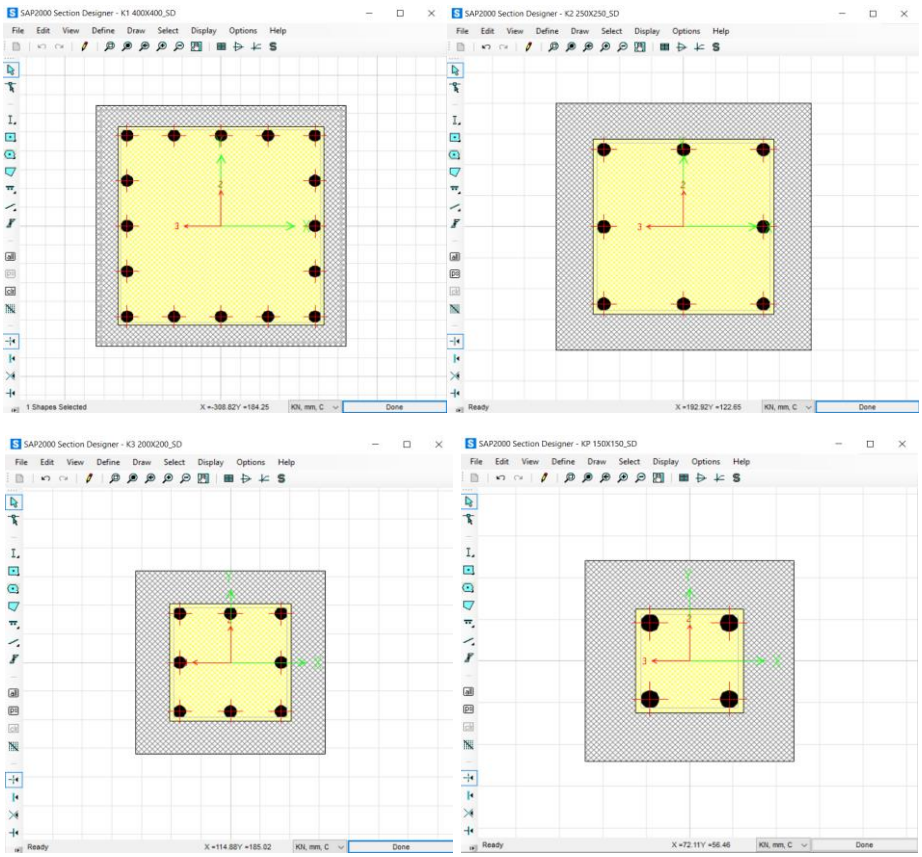
5.2.1 Pemodelan Elemen Kolom

Pemodelan elemen kolom diawali dengan memasukkan parameter pada *tab Section Data* yang memuat *base material*, *design type*, *concrete clumn check/design*. Tampilan dari *Section Data* dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



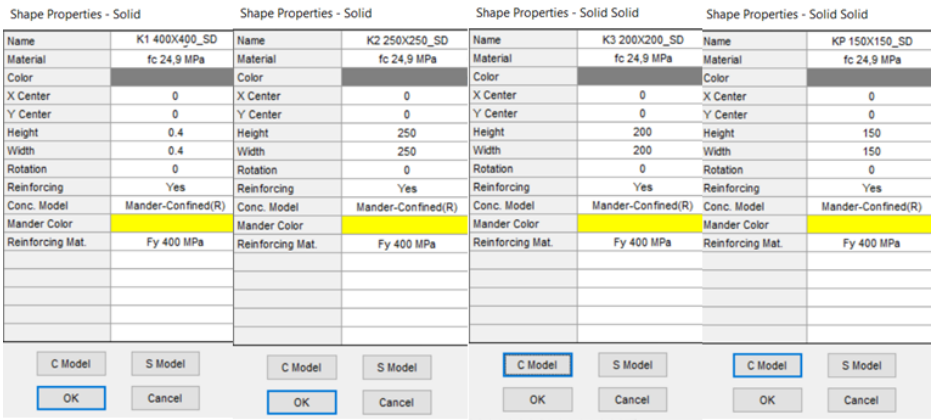
Gambar 5.6 *Section Data* Kolom

Penggambaran elemen dapat dilakukan dengan klik *section designer*, gambar elemen mengacu pada dokumen *shopdrawing* dengan melakukan *input* parameter dimensi, jumlah tulangan, diameter tulangan, dan jarak antar tulangan sehingga menghasilkan bentuk elemen seperti Gambar 5.7 berikut.

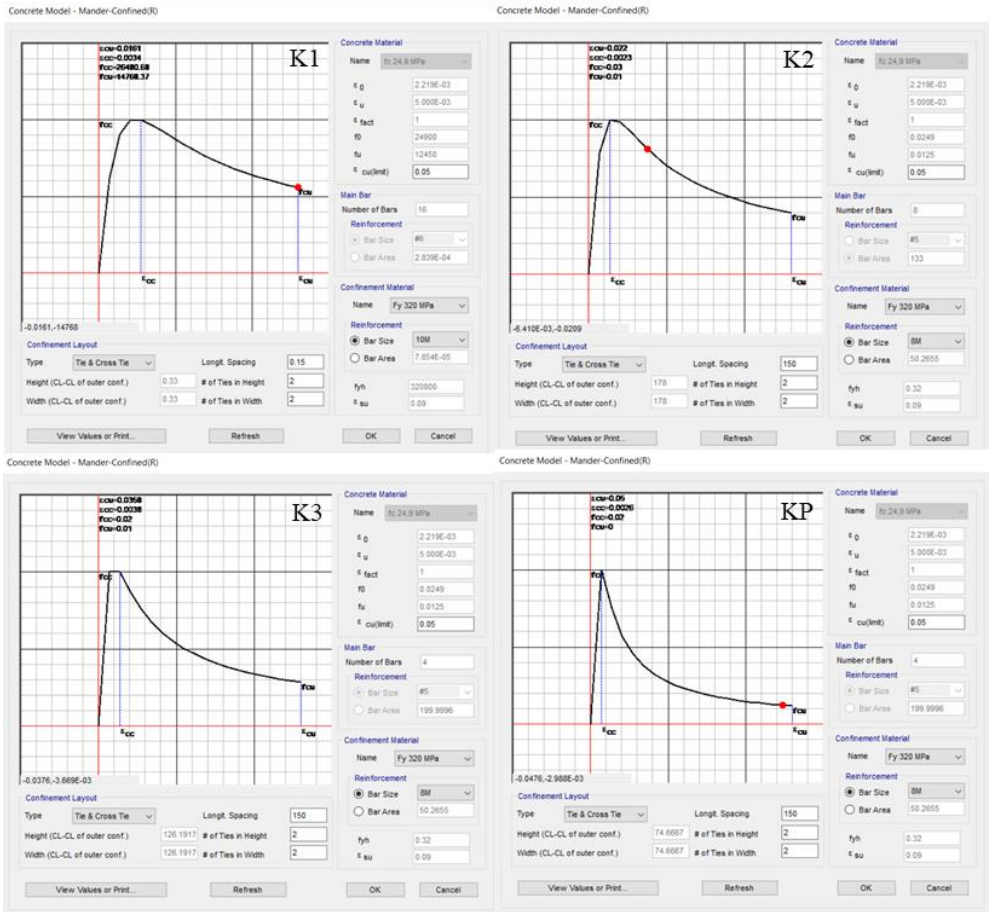


Gambar 5.7 Pemodelan Kolom Menggunakan *Section Designer*

Jumlah kaki sengkang dapat dimodelkan dengan melakukan klik kanan pada gambar kolom yang telah didesain, kemudian klik *C Model* dan masukkan jumlah kaki sengkang pada bagian *Confinement Layout* seperti pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 berikut.



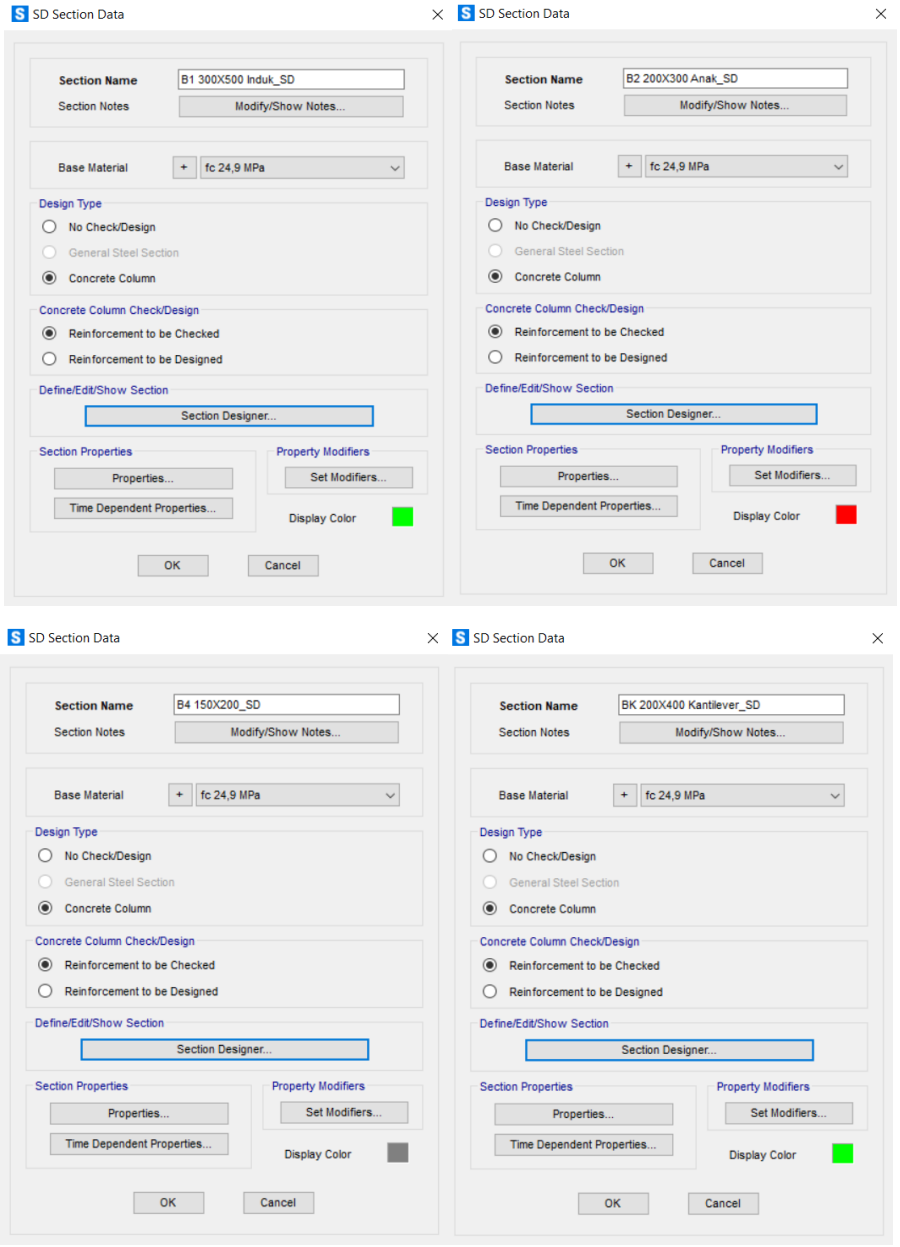
Gambar 5.8 *Shape Properties* Kolom



Gambar 5.9 *C Model* Kolom

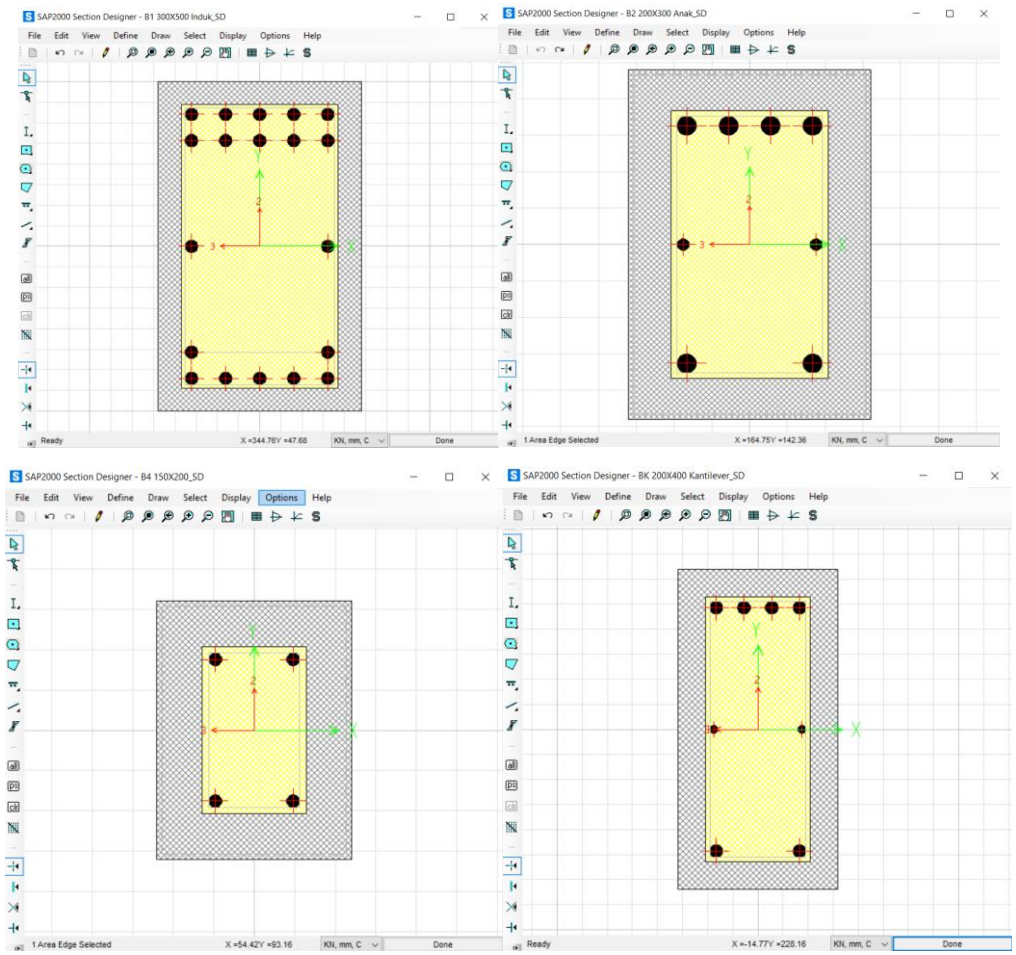
5.2.2 Pemodelan Elemen Balok

Pemodelan elemen balok diawali dengan memasukkan parameter pada *tab Section Data* yang memuat *base material*, *design type*, *concrete clumn check/design*. Tampilan dari *Section Data* dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



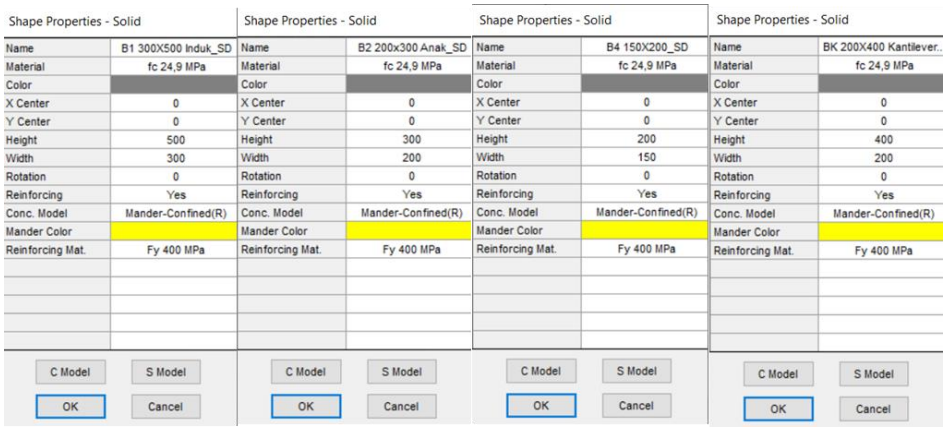
Gambar 5.10 *Section Data* Balok

Penggambaran elemen dapat dilakukan dengan klik *section designer*, gambar elemen mengacu pada dokumen *shopdrawing* dengan melakukan *input* parameter dimensi, jumlah tulangan, diameter tulangan, dan jarak antar tulangan sehingga menghasilkan bentuk elemen seperti Gambar 5.11 berikut.

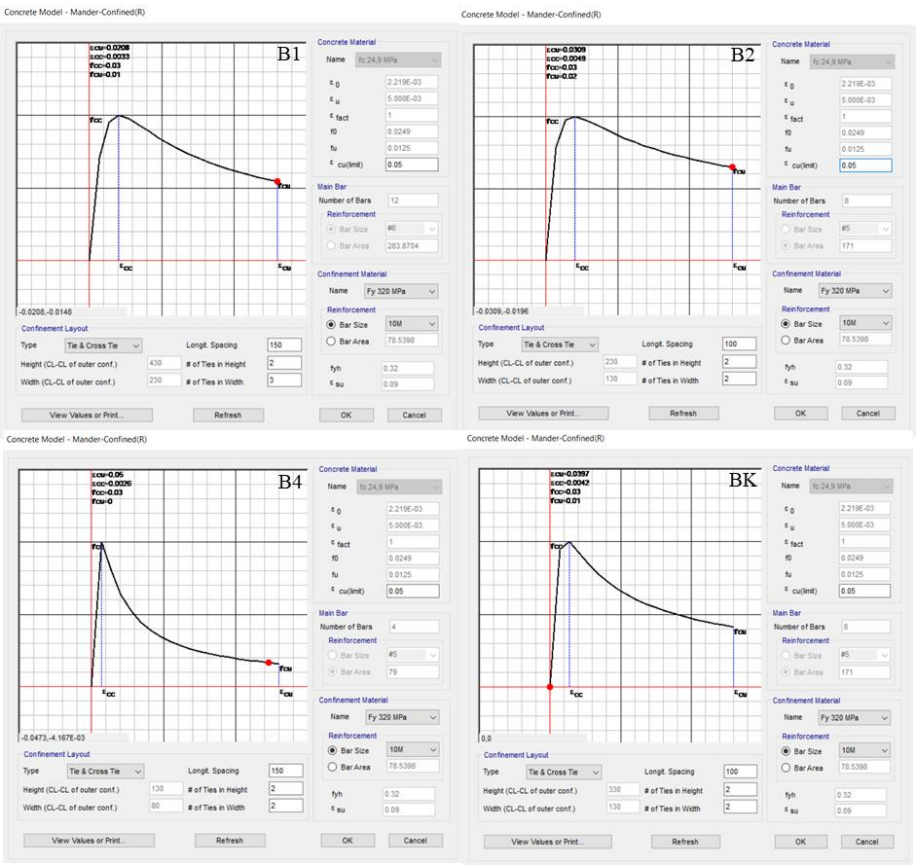


Gambar 5.11 Pemodelan Balok Menggunakan *Section Designer*

Jumlah kaki sengkang dapat dimodelkan dengan melakukan klik kanan pada gambar balok yang telah didesain, kemudian klik *C Model* dan masukkan jumlah kaki sengkang pada bagian *Confinement Layout* seperti pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.12 *Shape Properties* Balok



Gambar 5.13 *C Model* Balok

Pemodelan dengan *section designer* bertujuan untuk mengetahui grafik momen kurvatur pada elemen struktur yang utamanya menggunakan material beton bertulang. Momen kurvatur merupakan besarnya rotasi yang terjadi pada elemen struktur ketika menerima momen lentur yang mana grafik momen kurvatur tersebut menampilkan besarnya momen lentur dan rotasi yang terjadi.

5.3 Perhitungan Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan struktur pada gedung ini meliputi perhitungan beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai SNI-1726-2019 yang akan didistribusikan pada bangunan utama. Berikut penjelasan dari masing-masing perhitungan pembebanan.

5.3.1 Beban Mati

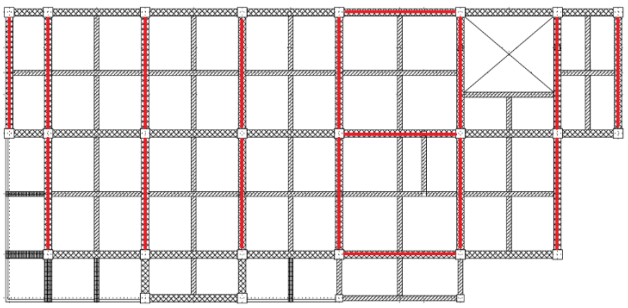
Berat sendiri elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat akan dihitung secara otomatis oleh program SAP2000 dan dibandingkan dengan perhitungan manual. Perhitungan berat sendiri yang akan dilakukan merupakan beban mati tambahan yang akan ditambahkan di dalam pembebanan struktur. Tahapan perhitungan beban mati tambahan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Perhitungan Berat Sendiri

   Perhitungan manual berat sendiri dilakukan sebagai pembanding hasil berat sendiri yang otomatis dari SAP2000. Perhitungan manual berat sendiri akan dilakukan pada elemen balok, kolom, dan pelat.

   a. Balok

      Contoh perhitungan berat sendiri balok akan dicontohkan pada balok yang dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Denah Balok Elemen B1 Lantai 2

Garis warna merah tersebut merupakan simbol yang memberi tanda bahwa elemen balok merupakan B1 yang memiliki bentang panjang 5 meter. Sehingga dapat dilakukan contoh perhitungan berat balok pada balok lantai dua sebagai berikut.

Dimensi Balok B1

B = 0,30 m

H = 0,50 m

L = 5,00 m

Diperoleh volume elemen B1 pada lantai dua dengan bentang 5 meter yaitu.

$V = B \times H \times L$

$= 0{,}30 \times 0{,}50 \times 5{,}00$

$= 0{,}75\ m^3$

Diketahui bahwa elemen B1 pada lantai dua yang memiliki bentang 5 meter yaitu sebanyak n = 17 elemen. Serta diketahui juga untuk nilai berat jenis beton yaitu 2400 kg/m^3. Sehingga dapat diperoleh hasil dari berat bangunan untuk elemen B1 pada lantai dua yang memiliki bentang 5 meter yaitu sebagai berikut.

$BV = V \times n \times BJ$

$= 0{,}75 \times 17 \times 2400$

$= 30600$ kg

Perhitungan berat sendiri balok dilanjutkan dengan menghitung elemen balok lainnya seperti B2, B3, dan BK hingga pada tingkat lantai selanjutnya. Berikut merupakan hasil perhitungan dari berat total balok seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Perhitungan Berat Balok

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Volume (m^3)	Jumlah	BJ (Kg/m^3)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
LANTAI 2								
1	B1	5,00	0,30	0,50	0,75	17	2400	30600
	B1	4,00	0,30	0,50	0,60	13	2400	18720
	B1	2,50	0,30	0,50	0,38	2	2400	1800
	B1	1,80	0,30	0,50	0,27	2	2400	1296

Lanjutan Tabel 5.1 Perhitungan Berat Balok

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Volume (m^3)	Jumlah	BJ (Kg/m^3)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
LANTAI 2								
	B1	1,60	0,30	0,50	0,24	2	2400	1152
2	B2	5,00	0,20	0,30	0,30	10	2400	7200
	B2	4,00	0,20	0,30	0,24	8	2400	4608
	B2	2,50	0,20	0,30	0,15	2	2400	720
	B2	1,80	0,20	0,30	0,11	4	2400	1036,8
	B2	1,60	0,20	0,30	0,10	2	2400	460,8
3	BK	1,80	0,20	0,40	0,14	3	2400	1036,8
	BK	1,60	0,20	0,40	0,13	2	2400	614,4
TOTAL								69244,8
LANTAI 3								
1	B1	5,00	0,30	0,50	0,75	17	2400	30600
	B1	4,00	0,30	0,50	0,60	13	2400	18720
	B1	2,50	0,30	0,50	0,38	2	2400	1800
	B1	1,80	0,30	0,50	0,27	2	2400	1296
	B1	1,60	0,30	0,50	0,24	2	2400	1152
2	B2	5,00	0,20	0,30	0,30	10	2400	7200
	B2	4,60	0,20	0,30	0,28	2	2400	1324,8
	B2	4,00	0,20	0,30	0,24	10	2400	5760
	B2	2,50	0,20	0,30	0,15	2	2400	720
	B2	1,80	0,20	0,30	0,11	4	2400	1036,8
	B2	1,60	0,20	0,30	0,10	2	2400	460,8
3	BK	1,80	0,20	0,40	0,14	3	2400	1036,8
	BK	1,60	0,20	0,40	0,13	2	2400	614,4
TOTAL								71721,6
LANTAI 4								
1	B1	5,00	0,30	0,50	0,75	17	2400	30600
	B1	4,00	0,30	0,50	0,60	13	2400	18720
	B1	2,50	0,30	0,50	0,38	2	2400	1800
	B1	1,80	0,30	0,50	0,27	2	2400	1296
	B1	1,60	0,30	0,50	0,24	2	2400	1152
2	B2	5,00	0,20	0,30	0,30	10	2400	7200
	B2	4,00	0,20	0,30	0,24	8	2400	4608
	B2	2,50	0,20	0,30	0,15	2	2400	720
	B2	1,80	0,20	0,30	0,11	4	2400	1036,8
	B2	1,60	0,20	0,30	0,10	2	2400	460,8
3	BK	1,80	0,20	0,40	0,14	3	2400	1036,8
	BK	1,60	0,20	0,40	0,13	2	2400	614,4
TOTAL								69244,8

Lanjutan Tabel 5.1 Perhitungan Berat Balok

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Volume (m^3)	Jumlah	BJ (Kg/m^3)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
LANTAI ATAP								
1	B1	5,00	0,30	0,50	0,75	7	2400	12600
	B1	4,00	0,30	0,50	0,60	6	2400	8640
2	B2	5,00	0,20	0,30	0,30	4	2400	2880
	B2	4,00	0,20	0,30	0,24	3	2400	1728
	B2	1,60	0,20	0,30	0,10	1	2400	230,4
TOTAL								26078,4

Hasil rekapitulasi perhitungan berat balok setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Berat Balok

Balok Tingkat	Berat (Kg)
LT 2 (+4,00)	69244,8
LT 3 (+8,00)	71721,6
LT 4 (+12,00)	69244,8
ATAP (+16,00)	26078,4
TOTAL	**236289,6**

b. Kolom

Perhitugan berat sendiri kolom akan dicontohkan pada kolom yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Perhitungan Berat Kolom

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Volume (m^3)	Jumlah	BJ (Kg/m^3)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
LANTAI 1								
1	K1	0,40	0,40	4	0,64	26	2400	39936
2	K2	0,25	0,25	4	0,25	2	2400	1200
3	K3	0,20	0,20	4	0,16	6	2400	2304
TOTAL								43440
LANTAI 2								
1	K1	0,40	0,40	4	0,64	26	2400	39936
2	K2	0,25	0,25	4	0,25	2	2400	1200
3	K3	0,20	0,20	4	0,16	6	2400	2304
TOTAL								43440

Lanjutan Tabel 5.3 Perhitungan Berat Kolom

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Volume (m^3)	Jumlah	BJ (Kg/m^3)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
LANTAI 3								
1	K1	0,40	0,40	4	0,64	24	2400	36864
2	K2	0,25	0,25	4	0,25	2	2400	1200
3	K3	0,20	0,20	4	0,16	6	2400	2304
TOTAL								40368
LANTAI 4								
1	K1	0,40	0,40	4	0,64	10	2400	15360
2	K2	0,25	0,25	4	0,25	0	2400	0
3	K3	0,20	0,20	4	0,16	3	2400	1152
TOTAL								16512

Hasil rekapitulasi perhitungan berat kolom setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Berat Kolom

Kolom Tingkat	Berat (Kg)
LT 1 (±0,00)	43440
LT 2 (+4,00)	43440
LT 3 (+8,00)	40368
LT 4 (+12,00)	16512
TOTAL	**143760**

c. Pelat

Perhitungan berat sendiri pelat akan dicontohkan pada pelat yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Pehitungan Berat Pelat

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Volume (m^3)	Jumlah	BJ (Kg/m^3)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
LANTAI 2								
1	PL	5,00	1,80	0,10	0,90	1	2400	2160
2	PL	2,50	2,50	0,10	0,63	10	2400	15000
3	PL	2,00	2,50	0,10	0,50	28	2400	33600
4	PL	2,50	1,60	0,10	0,40	4	2400	3840
5	PL	2,00	1,80	0,10	0,36	6	2400	5184
6	PL	1,60	2,00	0,10	0,32	2	2400	1536

Lanjutan Tabel 5.5 Pehitungan Berat Pelat

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Volume (m^3)	Jumlah	BJ (Kg/m^3)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
LANTAI 2								
7	PL	1,60	1,80	0,10	0,29	1	2400	691,2
TOTAL								62011,2
LANTAI 3								
1	PL	4,60	4,00	0,10	1,84	1	2400	4416
2	PL	5,00	1,80	0,10	0,90	1	2400	2160
3	PL	2,50	2,50	0,10	0,63	10	2400	15000
4	PL	2,00	2,50	0,10	0,50	28	2400	33600
5	PL	2,50	1,60	0,10	0,40	4	2400	3840
6	PL	2,00	1,80	0,10	0,36	6	2400	5184
7	PL	1,60	2,00	0,10	0,32	2	2400	1536
8	PL	1,60	1,80	0,10	0,29	1	2400	691,2
TOTAL								66427,2
LANTAI 4								
1	PL	2,50	2,50	0,10	0,63	4	2400	6000
2	PL	2,00	2,50	0,10	0,50	8	2400	9600
3	PL	1,60	2,00	0,10	0,32	2	2400	1536
4	PA	5,00	1,80	0,10	0,90	1	2400	2160
5	PA	2,50	2,50	0,10	0,63	6	2400	9000
6	PA	2,00	2,50	0,10	0,50	20	2400	24000
7	PA	2,50	1,60	0,10	0,40	4	2400	3840
8	PA	2,00	1,80	0,10	0,36	6	2400	5184
9	PA	1,60	1,80	0,10	0,29	1	2400	691,2
TOTAL								62011,2
ATAP								
1	PA	1,00	18,00	0,10	1,80	1	2400	4320
2	PA	1,00	5,00	0,10	0,50	1	2400	1200
3	PA	2,50	2,00	0,10	0,50	8	2400	9600
4	PA	3,40	4,00	0,10	1,36	1	2400	3264
5	PA	2,50	2,50	0,10	0,63	4	2400	6000
6	PA	1,60	2,00	0,10	0,32	2	2400	1536
TOTAL								25920

Hasil rekapitulasi perhitungan berat pelat setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Berat Pelat

Pelat Tingkat	Berat (Kg)
LT 2 (+4,00)	62011,2
LT 3 (+8,00)	66427,2
LT 4 (+12,00)	62011,2
ATAP (+16,00)	25920
TOTAL	**216369,6**

Untuk hasil seluruh elemen struktur di setiap lantai serta perbandingan antara berat yang dihasilkan langsung dari program SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Berat Manual

Tingkat	**Berat Total**	
LT 1 (±0.00)	43440	kg
LT 2 (+4.00)	174696	kg
LT 3 (+8.00)	178516,8	kg
LT 4 (+12.00)	147768	kg
ATAP (+16.00)	124392	kg
Total	**596419,2**	**kg**
	5848,874	**kN**
Total Berat Program SAP2000	**6016,488**	**kN**
Selisih	**-167,616**	**kN**

2. Perhitungan Beban Tambahan Pelat

Perhitungan beban tampahan pelat mengacu pada SNI 03-1727-1989 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) sesuai pasal 2.1.1.

a. Pelat Lantai

Ducting AC	=	20	kg/m^2		= 0,1961	kN/m^2
Keramik	=	24	kg/m^2		= 0,2354	kN/m^2
Pasir	=	1800	kg/m^3	x 0,03 m	= 0,5296	kN/m^2

Penggantung	=	7	kg/m^2		= 0,0686	kN/m^2
Plafon Asbes	=	11	kg/m^2		= 0,1079	kN/m^2
Plumbing & Elektrikal	=	30	kg/m^2		= 0,2942	kN/m^2
Spesi	=	1950	kg/m^3	x 0,02 m	= 0,3825	kN/m^2
				$Q_{d\ lantai}$	= 1,8142	kN/m^2

b. Pelat Atap (*Finishing* Lantai Atap)

Pasir	=	1800	kg/m^3	x 0,03 m	= 0,5296	kN/m^2
Plafon Asbes	=	11	kg/m^2		= 0,1079	kN/m^2
Plumbing & Elektrikal	=	30	kg/m^2		= 0,2942	kN/m^2
Spesi	=	1950	kg/m^3	x 0,02 m	= 0,3825	kN/m^2
Waterproofing (2 cm)	=	2100	kg/m^3	x 0,02 m	= 0,4119	kN/m^2
				$Q_{d\ atap}$	= 1,7260	kN/m^2

5.3.2 Beban Hidup

Bangunan difungsikan sebagai ruang perkantoran sehingga untuk beban hidup yang digunakan mengacu pada SNI 1727-2020 pasal 4.3.1 sebagai berikut.

1. Beban Hidup pada Lantai
   - *QL* lobi dan koridor lantai pertama = 4,79 kN/m^2
   - *QL* ruang kantor = 2,40 kN/m^2
   - *QL* koridor di atas lantai pertama = 3,83 kN/m^2
2. Beban Hidup pada Atap
   - *QL* atap = 0,96 kN/m^2
3. Beban Hidup pada Balkon
   - *QL* balkon = 3,60 kN/m^2

5.3.3 Beban Gempa

Lokasi bangunan berada di daerah Balikpapan Selatan, Kalimantan Timur dengan jenis tanah lunak (SE). Bangunan memiliki jumlah tingkat 4 lantai dengan tinggi bangunan 16 m. Analisis beban gempa pada struktur bangunan ini menggunakan analisis statik ekuivalen.

1. Parameter Percepatan Gempa
   a. Percepatan Batuan Dasar pada Perioda Pendek (*Ss*)

      Dari peta respon spektra yang ditujukan pada Gambar 3.3, percepatan 0,2 dt di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun SNI 1726 – 2019 pasal 15 sesuai gambar 15, nilai *Ss* untuk wilayah Balikpapan Selatan, Kalimantan Timur berada pada rentang 0,05 – 0,15 g. Nilai *Ss* yang diambil yaitu 0,0825 g.

   b. Percepatan Batuan Dasar pada Perioda 1 Detik (S_1)

      Dari peta respon spektra yang ditujukan pada Gambar 3.4, percepatan 1 dt di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun SNI 1726 – 2019 pasal 15 sesuai gambar 16, nilai S_1 untuk wilayah Balikpapan Selatan, Kalimantan Timur berada pada rentang 0,05 – 0,1 g. Nilai S_1 yang diambil yaitu 0,0692 g.

   c. Koefisien Situs

      Faktor amplifikasi seismik (F_a dan F_v) ditentukan berdasarkan Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 atau dari SNI 1726-2019 pasal 6.2 sesuai tabel 6 dan tabel 7. Faktor amplifikasi seismik pada getaran perioda pendek (F_a), karena nilai *Ss* = 0,0825 berada diantara 0,1 – 0,15 dan terletak di tanah lunak (SE) perlu dilakukan interpolasi sehingga nilai F_a = 2,4000. Faktor amplifikasi seismik pada getaran perioda 1 detik (F_v), karena nilai S_1 = 0,0692 dan berada di antara 0,1 – 0,15 terletak pada koefisien situs tanah lunak (SE) sehingga nilai F_v = 4,2000.

   d. Parameter Respon Spektrum

      Hubungan koefisien-koefisien situs dan parameter respon spektra mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 6.2 sebagai berikut.

      Percepatan pada Perioda Pendek (SMS)

      S_{MS} = F_a x *Ss* (5.1)

      = 2,4000 x 0,0825

      = 0,1980 g

Percepatan pada Perioda 1 Detik (SM1)

S_{M1} = F_v x S_1 (5.2)

= 4,200 x 0,0692

= 0,2906 g

2. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek dan pada periode 1 detik ditentukan berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.3 sebagai berikut.

a. Spektral Desain untuk Perioda Pendek (S_{DS})

S_{DS} = $\frac{2}{3} x\ S_{MS}$ (5.3)

= $\frac{2}{3} x$ 0,1980

= 0,1320 g

b. Spektral Desain untuk Perioda 1 Detik (S_{D1})

S_{D1} = $\frac{2}{3} x\ S_{M1}$ (5.4)

= $\frac{2}{3} x$ 0,2906

= 0,1938 g

3. Desain Respon Spektrum

Respon spektrum didesain mengacu pada ketentuan SNI 1726-2019 pasal 6.4 sebagai berikut.

T_0 = 0,2 $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ (5.5)

= 0,2 $\frac{0,1938}{0,1320}$

= 0,2936 dt

Ts = $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ (5.6)

= $\frac{0,1938}{0,1320}$

= 1,4679 dt

Untuk $T < T_0$

$$S_a = S_{DS}\left(0{,}4 + 0{,}6\ \frac{T}{T_0}\right) \quad (5.7)$$

$$= 0{,}1320\left(0{,}4 + 0{,}6\ \frac{0}{0{,}2936}\right)$$

$$= 0{,}0528$$

Untuk $T_0 \leq T \leq T_S$

$$S_a = S_{DS} \quad (5.8)$$

$$= 0{,}1320$$

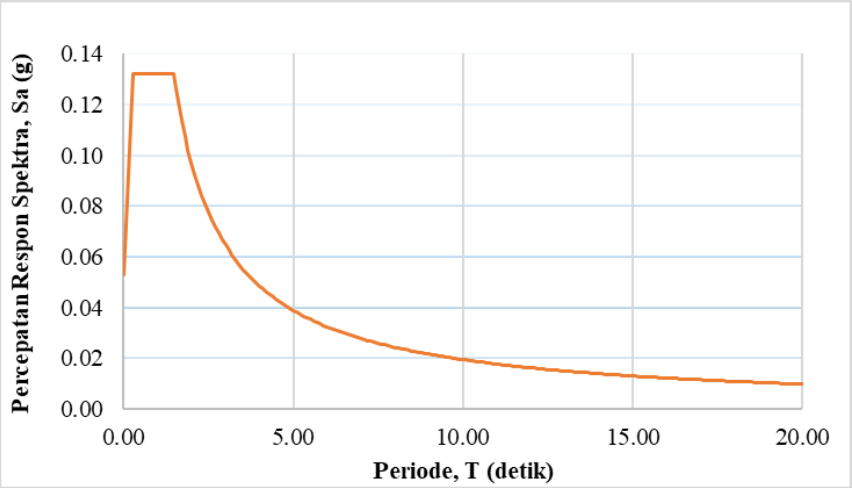
Untuk $T \geq Ts$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (5.9)$$

$$= \frac{0{,}1938}{1{,}500}$$

$$= 0{,}1292$$

Dari hasil perhitungan dengan parameter-parameter di atas diperoleh grafik respon spektrum menurut SNI-1726-2019 yang dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Grafik Respon Spektrum

4. Perhitungan Periode Pendekatan Fundamental

   Penentuan periode fundamental sturktur ditentukan mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 7.8.2 sebagai berikut.

a. Menentukan Waktu Getar Struktur (T)

$T_a = C_t h_n^x$ (5.10)

$= 0{,}0466 \times 16^{0{,}9}$

$= 0{,}5651$ dt

Keterangan:

h_n = Tinggi bangunan total hingga atap (m)

C_t = Nilai Parameter Periode Pendekatan

x = Nilai Parameter Periode Pendekatan

b. Menentukan Nilai Periode Maksimum

$T_{max} = C_u \times T_a$ (5.11)

$= 1{,}5125 \times 0{,}5651$

$= 0{,}8546$ dt

Keterangan:

C_u = Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

c. Menentukan Periode Struktur Pakai

Dari hasil luaran SAP2000 diperoleh nilai $Tc = 0{,}8494$ dt

Karena $T_a < T_c < T_{max}$ atau $0{,}5651 < 0{,}8494 < 0{,}8546$

Maka T yang digunakan adalah 0,8494 dt.

5. Perhitungan Koefisien Respon Seismik

a. Tingkat Daktilitas Struktur, $R = 8$ (untuk evaluasi mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 7.2.2 sesuai tabel 12)

b. Faktor Keutamaan Struktur, $I_e = 1$ (fungsi bangunan untuk perkantoran mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 4.1.2)

c. Nilai C_s

$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$ (5.12)

$= \frac{0{,}1320}{\left(\frac{8}{1}\right)}$

$= 0{,}0165$ g

d. Nilai C_{smax}

$$C_{smax} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (5.13)$$

$$= \frac{0{,}1938}{0{,}8494\left(\frac{8}{1}\right)}$$

$$= 0{,}0285 \text{ g}$$

e. Nilai C_{smin}

$$C_{smin} = 0{,}044 S_{DS} I_e \geq 0{,}01 \quad (5.14)$$

$$= 0{,}044 \; x \; 0{,}1320 \; x \; 1 \geq 0{,}01$$

$$= 0{,}0058 \leq 0{,}01 \text{ g}$$

Berdasarkan perhitungan di atas yang mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 7.8.1.1 dapat disimpulkan bahwa nilai *Csmin* < *Cs* < *Csmax*, maka nilai *Cs* yang digunakan adalah 0,0165 g.

6. Gaya Dasar Seismik

Berdasarkan SNI-1726-2019 pasal 7.8.1 gaya dasar seismik dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$V = C_s W \quad (5.15)$$

$$= 0{,}0165 \text{ x } 6031{,}488$$

$$= 99{,}520 \text{ kN}$$

7. Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen

Gaya Seismik Lateral (F_x) yang terjadi pada setiap tingkat dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx} V$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k}$$

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur

w_i dan w_x = Berat bangunan pada tingkat *i* atau *x*

h_i dan h_x = Tinggi bangunan pada tingkat *i* atau *x*

k = Eksponen yang terkait periode struktur dengan nilai:

k = 1, untuk struktur dengan $T \leq 0{,}5$ dt

k = 2, untuk struktur dengan $T \geq 2{,}5$ dt

k = interpolasi, untuk struktur dengan $0{,}5 \leq T \leq 2{,}5$ dt

Nilai k untuk T = 0,8494 dt dicari dengan interpolasi sebagai berikut.

$$k = 1 + \left(\frac{(2-1)}{(2{,}5-0{,}5)} x(0{,}8494 - 0{,}5)\right)$$

$$= 1{,}1747$$

Hasil distribusi gaya seismik lateral berdasarkan beban gempa SNI 1726-2019 setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Horizontal

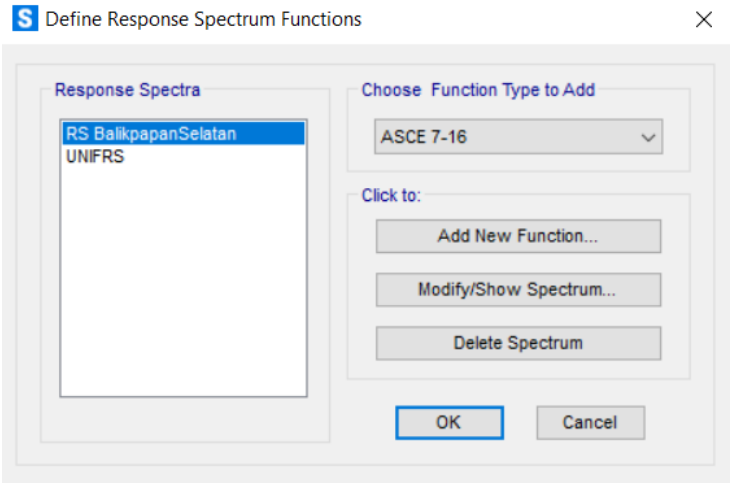
Lantai	w_i (kN)	h (m)	h^k	$w_i \times h^k$	C_{vx}	F_x
Lantai Atap +16.00	519,984	16	25,969	13503,67	0,190	18,901
Lantai 4 +12.00	149,28	12	18,522	27770,31	0,391	38,870
Lantai 3 +8.00	1809,264	8	11,504	20813,65	0,293	29,133
Lantai 2 +4.00	1768,56	4	5,096	9012,61	0,127	12,615
Lantai 1 ±0.00	434,4	0	0	0	0	0
TOTAL				**71100,24**	**1**	**99,520**

5.4 Analisis Beban Gempa

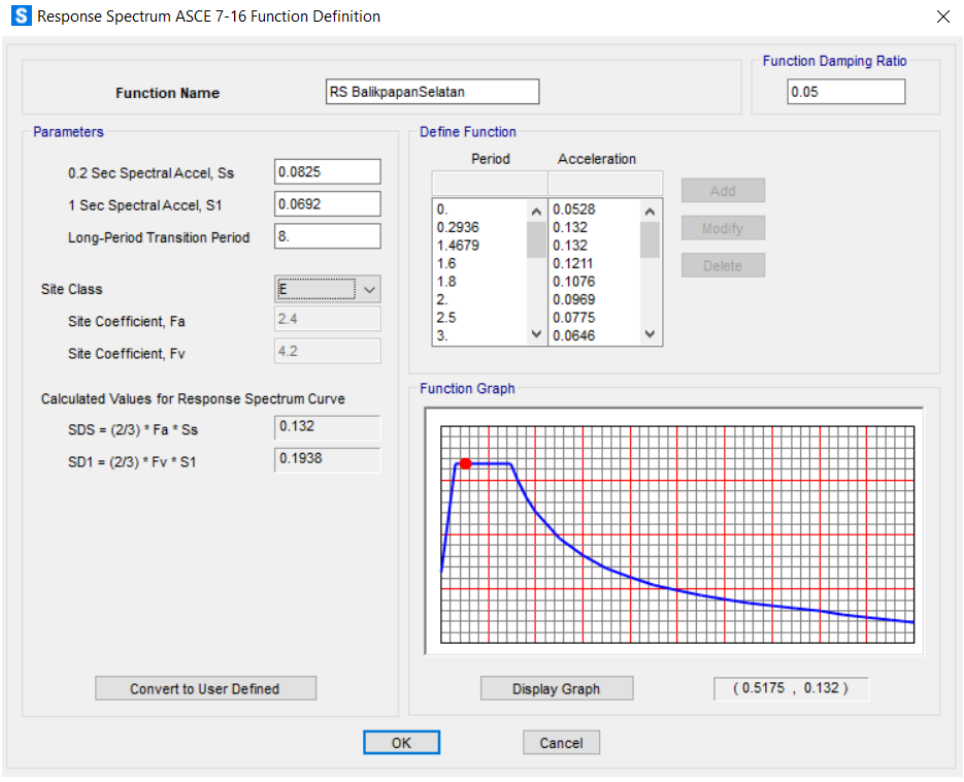
Sebelum melakukan tahapan analisis *pushover*, terlebih dahulu dicek syarat beban gempa yang telah dianalisis sebelumnya. Berdasarkan SNI 1726-2019, syarat yang harus dipenuhi untuk beban gempa yaitu $V_{dinamik} > V_{statik}$. Berikut analisa beban gempa statik dan dinamik yang dilakukan otomatis menggunakan bantuan *software* SAP2000.

5.4.1 Masukkan Data Respon Spektrum

Tahapan memasukkan data respon spektrum pada SAP2000 dapat dilakukan dengan cara klik *Define – Function – Respons Spectrum* – pada *tab define response spectrum functions klik Choose Fungction Type to Add* pilih ASCE 7-16 – *Add New Function* - lalu masukkan data respon spektrum – OK. Tahapan yang dilakukan lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 berikut.



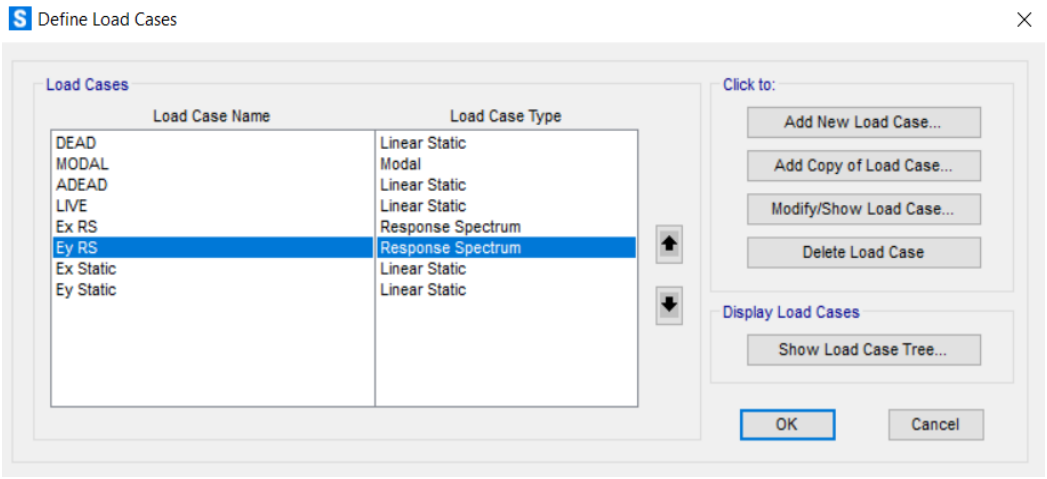
Gambar 5.16 Membuat *Respons Spectrum Function*



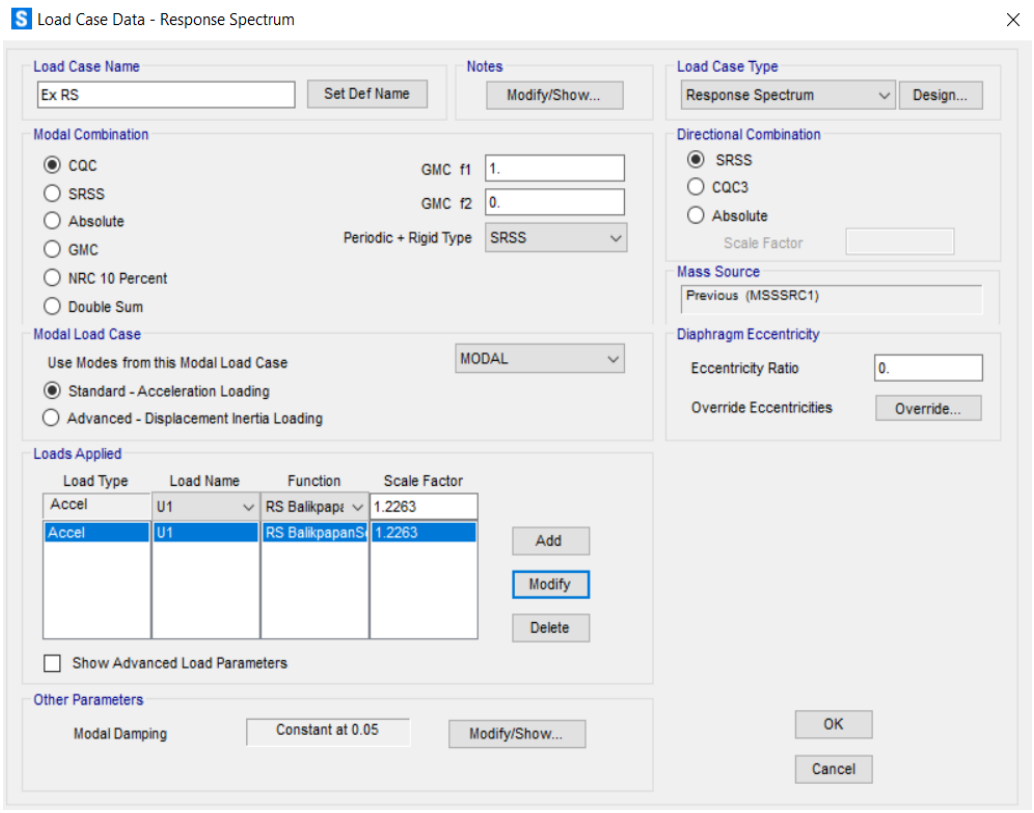
Gambar 5.17 Memasukkan Parameter Respon Spektrum

5.4.2 Mendefinisikan *Load Case Data*

Pada analisa beban gempa respon spektrum dilakukan *input* data berupa *scale factor* dan *function* dari data gempa Balikpapan Selatan. *Input* data dilakukan dengan klik *define – define load cases – add new load case – load type Accel – load name* untuk arah X dengan U1 dan arah Y dengan U2 – *function* RS BalikpapanSelatan – *input scale factor – OK. Load case data response spectrum* dapat dilihat pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 berikut



Gambar 5.18 *Define Load Cases* Untuk *Response Spectrum*

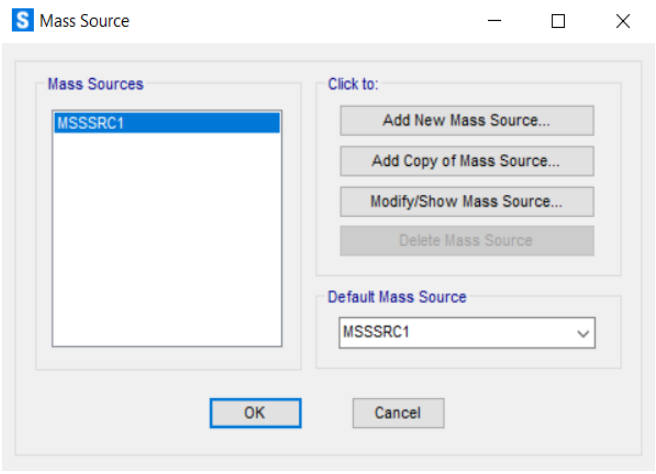


Gambar 5.19 ***Input Data Response Spectrum***

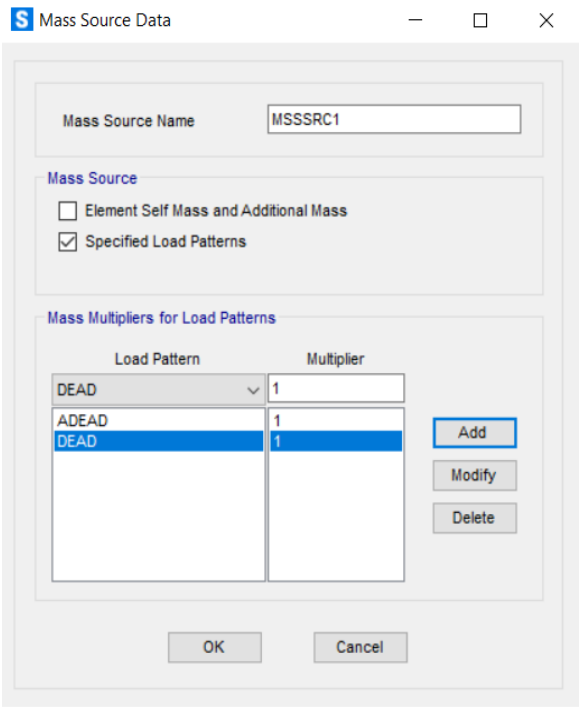
5.4.3 Mendefinisikan *Mass Source*

Suatu beban biasanya dihasilkan dari percepatan yang dikalikan dengan massa struktur, menentukan massa struktur sangat penting dalam analisis respon spektrum dinamik. Gaya atau beban gempa yang dihasilkan akan terlalu besar atau terlalu kecil jika pendefinisiannya salah.

Penentuan massa struktur dalam analisis mempengaruhi waktu getar struktur (T_c), sehingga dapat mempengaruhi besar kecilnya gaya gempa baik statik maupun dinamik. Tahapan yang dilakukan untuk mendefinisikan *mass source* dapat dilakukan dengan cara klik *Define - Mass Source – Add New Mass Source* – pada *tab Mass Source Name* isi dengan nama Massa Struktur – pada kotak *Mass Source* ceklis *Specified Load Patterns* – pada kotak *Mass Multiplers for Load Patterns input Load Pattern* DEAD = 1 dan ADEAD (beban mati tambahan) = 1. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.20 Tampilan *Tab Mass Source*

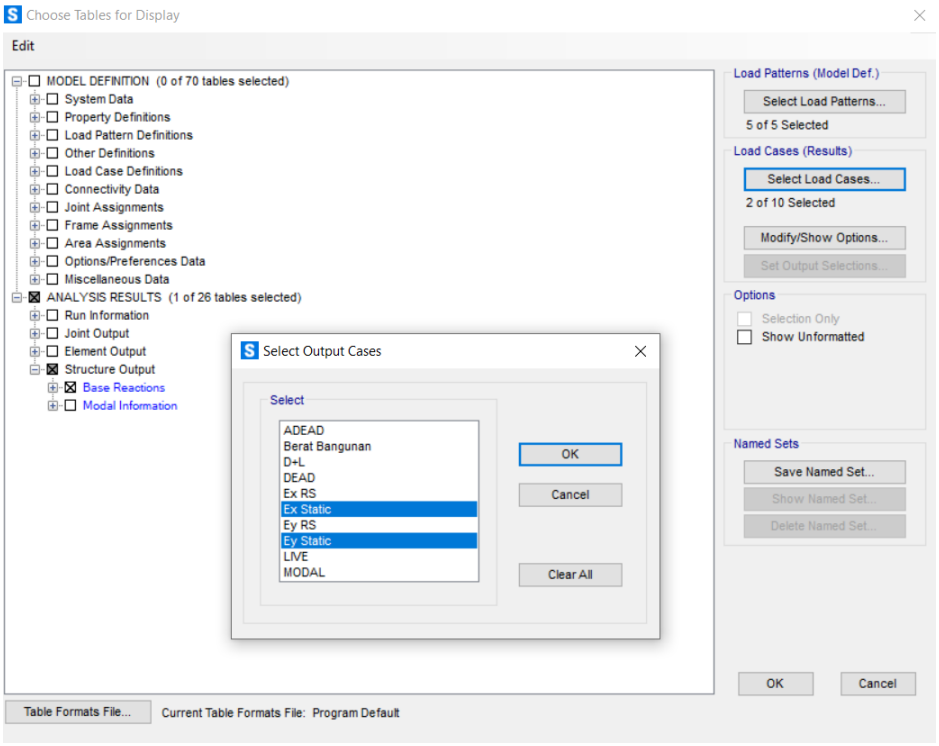


Gambar 5.21 Tampilan *Tab Mass Source Data*

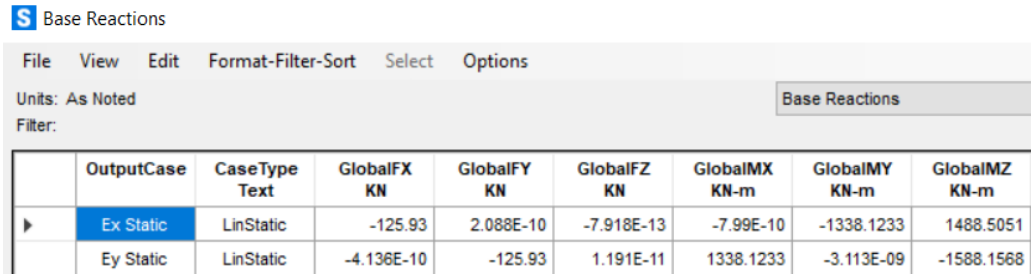
5.4.4 Analisa Beban Gempa Statik

Pada analisa beban gempa statik ekuivalen hasil analisis berupa gaya geser dasar (*base shear*) dilakukan otomatis dengan bantuan *software* SAP2000 melalui tahapan klik *display – show table – structure output - base reaction* – pilih *output*

case Ex Static dan *Ey Static – OK*. *Output* dari *base reaction* (V_{statik}) dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.22 Parameter *Running Base Reaction* Statik Ekuivalen



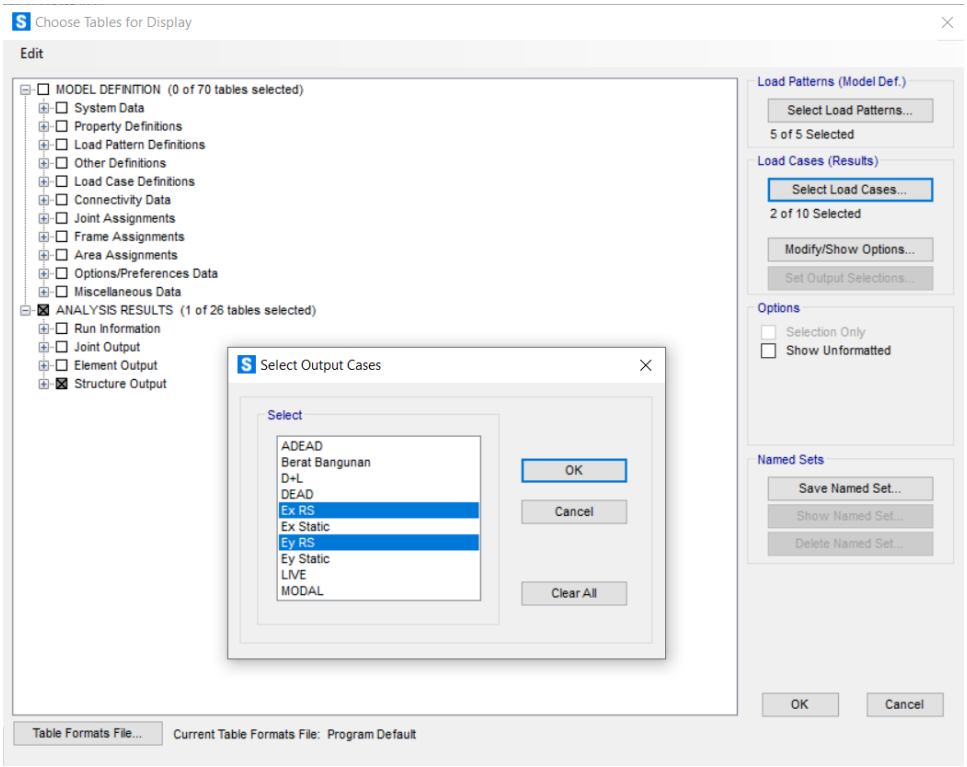
	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	Ex Static	LinStatic	-125.93	2.088E-10	-7.918E-13	-7.99E-10	-1338.1233	1488.5051
	Ey Static	LinStatic	-4.136E-10	-125.93	1.191E-11	1338.1233	-3.113E-09	-1588.1568

Gambar 5.23 *Base Reaction* Akibat Gaya Gempa Statik Ekuivalen

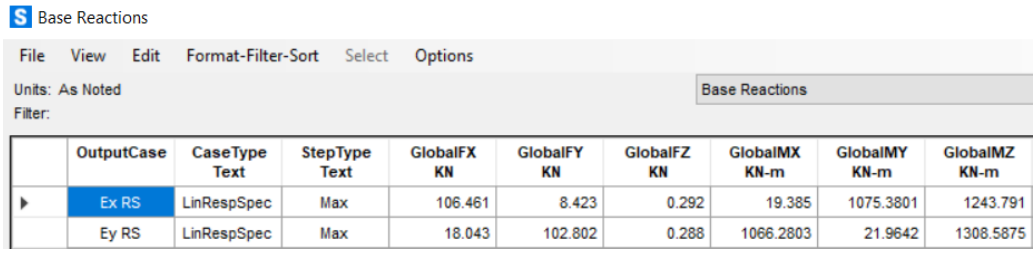
Berdasarkan Gambar 5.23 dapat diketahui bahwa nilai gaya geser yang diakibatkan oleh beban gempa untuk arah *x* (V_x) = 125,93 kN dan arah *y* (V_y) = 125,93 kN.

5.4.5 Analisa Beban Gempa Dinamik

Pada analisa beban gempa dinamik hasil analisis berupa gaya geser dasar (*base shear*) dilakukan otomatis dengan bantuan *software* SAP2000 melalui tahapan klik *display – show table – structure output - base reaction* – pilih *output case Ex RS* dan *Ey RS – OK*. *Output* dari *base reaction* ($V_{dinamik}$) dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 berikut.



Gambar 5.24 Parameter *Running Base Reaction* Dinamik



	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	Ex RS	LinRespSpec	Max	106.461	8.423	0.292	19.385	1075.3801	1243.791
	Ey RS	LinRespSpec	Max	18.043	102.802	0.288	1066.2803	21.9642	1308.5875

Gambar 5.25 *Base Reaction* Akibat Gaya Gempa Dinamik

Berdasarkan Gambar 5.25 dapat diketahui bahwa nilai gaya geser yang diakibatkan oleh beban gempa untuk arah *x* (V_x) = 106,461 kN dan arah *y* (V_y) = 102,802 kN.

5.4.6 Cek Syarat $V_{dinamik} > V_{statik}$

1. Arah X (Ex RS)

   V_{statik} = 125,93 kN

   $V_{dinamik}$ = 106,461 kN

   Cek Syarat:

   $V_{dinamik} < V_{statik}$

   106,461 < 125,93 (tidak memenuhi syarat)

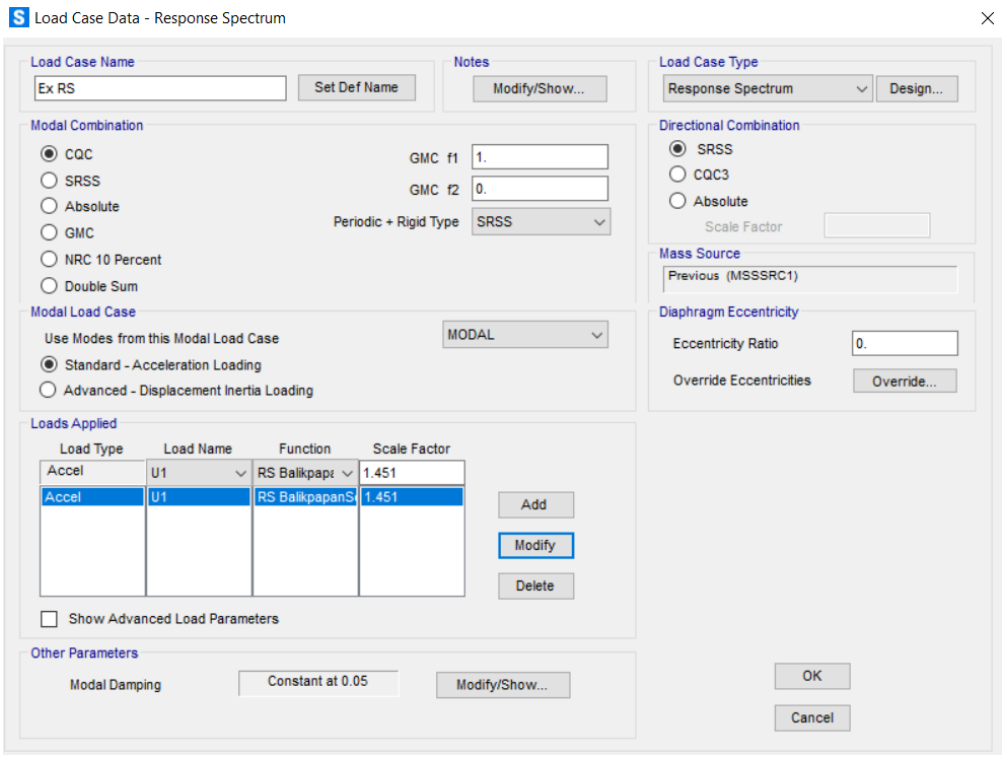
   Evaluasi *scale factor* $= \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}}$

   $= \frac{125,93}{106,461}$

   = 1,1829

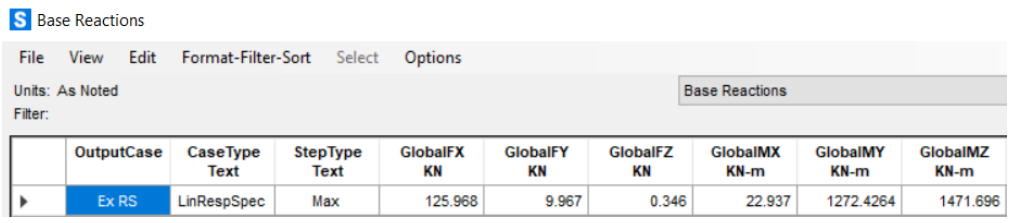
   U1 = 1,2263 x 1,1829 = 1,451

   Nilai U1 yang digunakan untuk arah *x* setelah dievaluasi maka menggunakan nilai U1 sebelumnya yang telah dikali dengan *scale factor* dengan hasil 1,451, kemudian dimasukkan kembali pada response spectrum case yang dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5.26 *Input Scale Factor Load Case Data Response Spectrum* Arah X

Setelah dilakukan *running* maka diperoleh nilai V_x baru pada *response spectrum*, selanjutnya dilakukan evaluasi kembali apakah sesuai syarat $V_{dinamik} > V_{statik}$. *Running* dilakukan dengan klik *display – show table – base reaction* – pilih *output case* Ex RS – *OK*. *Output base reaction* ($V_{dinamik}$) dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut.



	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	Ex RS	LinRespSpec	Max	125.968	9.967	0.346	22.937	1272.4264	1471.696

Gambar 5.27 Gaya Gempa Dinamik Arah X setelah Evaluasi *Scale Factor*

Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui bahwa nilai $V_{x\ dinamik} > V_{x\ statik}$ atau 125,968 kN > 125,93 kN, sehingga telah memenuhi syarat.

2. Arah Y (Ey RS)

V_{statik} = 125,93 kN

$V_{dinamik}$ = 102,802 kN

Cek Syarat:

$V_{dinamik} < V_{statik}$

102,802 < 125,93 (tidak memenuhi syarat)

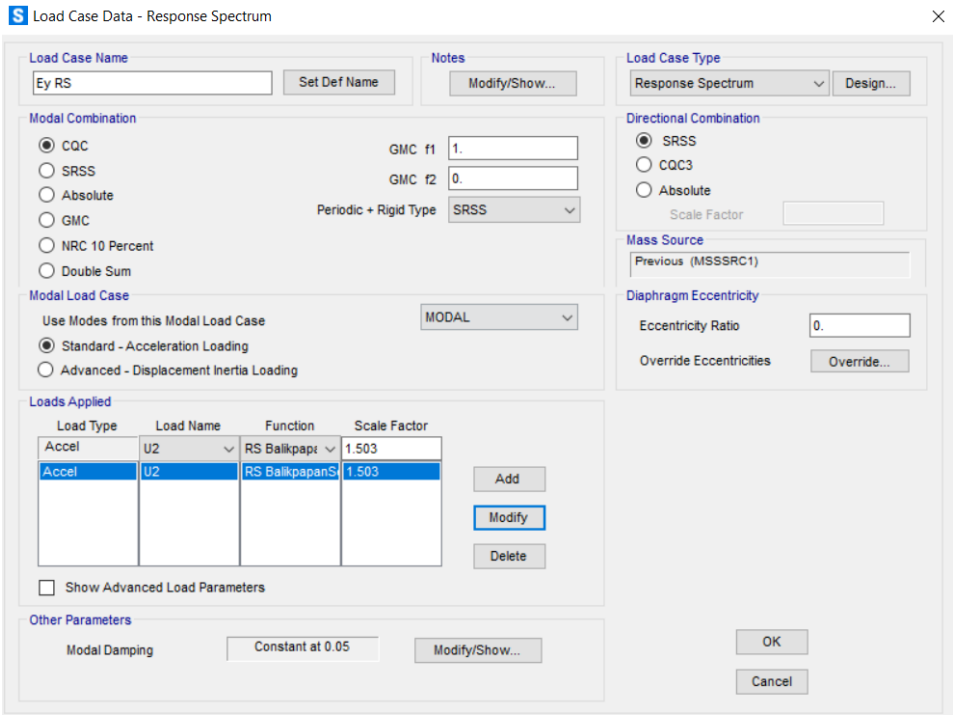
Evaluasi *scale factor* $= \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}}$

$= \frac{125,93}{102,802}$

= 1,2250

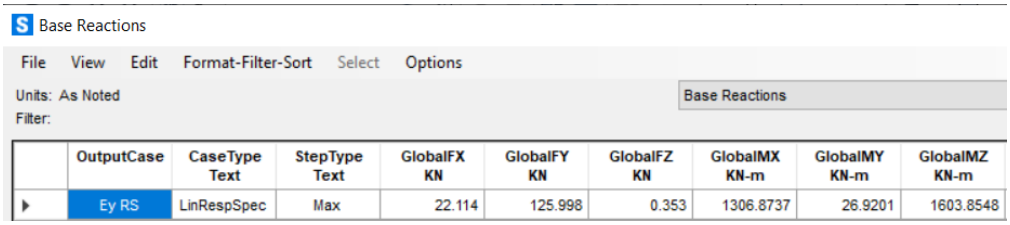
U2 = 1,2263 x 1,2250 = 1,503

Nilai U2 yang digunakan untuk arah *x* setelah dievaluasi maka menggunakan nilai U2 sebelumnya yang telah dikali dengan *scale factor* dengan hasil 1,503, kemudian dimasukkan kembali pada *response spectrum case* yang dapat dilihat pada Gambar 5.28 berikut.



Gambar 5.28 *Input Scale Factor Load Case Data Response Spectrum* Arah Y

Setelah dilakukan *running* maka diperoleh nilai V_y baru pada *response spectrum*, selanjutnya dilakukan evaluasi kembali apakah sesuai syarat $V_{dinamik} > V_{statik}$. *Running* dilakukan dengan *klik display – show table – base reaction* – pilih *output case* Ey RS – *OK*. *Output base reaction* ($V_{dinamik}$) dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut.


Base Reactions

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter:

Base Reactions

	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	Ey RS	LinRespSpec	Max	22.114	125.998	0.353	1306.8737	26.9201	1603.8548

Gambar 5.29 Gaya Gempa Dinamik Arah Y setelah Evaluasi *Scale Factor*

Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui bahwa nilai $V_{y\ dinamik} > V_{y\ statik}$ atau 125,998 kN > 125,93 kN, sehingga telah memenuhi syarat.

5.5 Analisis *Pushover*

5.5.1 Pendefinisian *Load Case Pushover Analysis*

Load case pushover analysis dilakukan dengan 2 (dua) tahapan. Tahap pertama yaitu dengan memberikan struktur bangunan beban mati dan beban hidup namun belum mempertimbangkan kondisi non linear. Tahap kedua yaitu dengan memberikan pola beban lateral secara bertahap.

1. Pendefinisian Beban Gravitasi *Pushover* (*GRAVITY*)

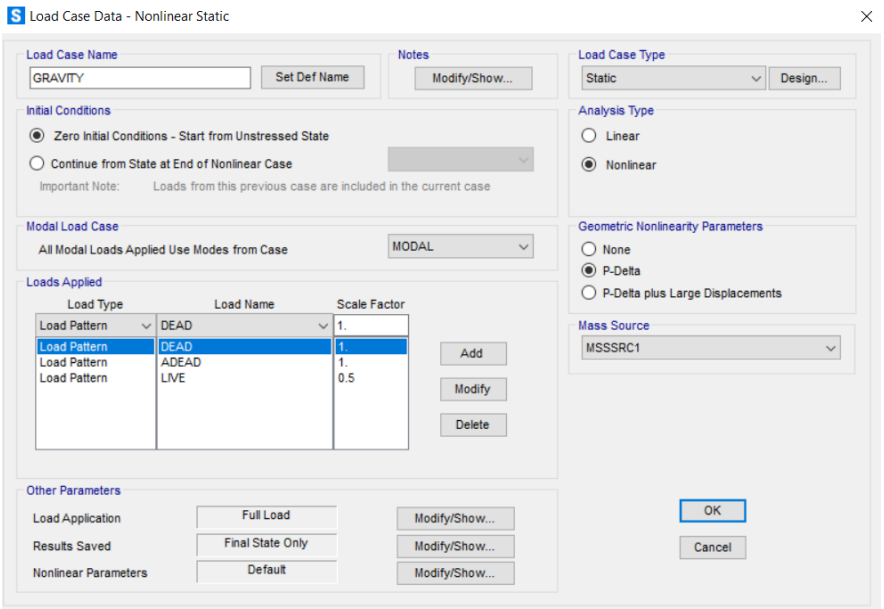
   Pendefinisian beban gravitasi dengan *software* SAP2000 dilakukan dengan tahapan klik *Define – Load Case – Add New Load Case* – Isi data *Load Case*. Data *Load Case* dilakukan modifikasi untuk nilai *GRAVITY* sesuai dengan tahapan berikut dan dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.

   a. *Load Case Name* : *GRAVITY*
   b. *Load Case Type* : *Static*
   c. *Initial Conditions* : *Zero Initial Conditions – Start from Unstressed State*
   d. *Analysis Type* : *Nonlinier*

e. *Geometric Nonlinearty Patameters* : *P-Delta*

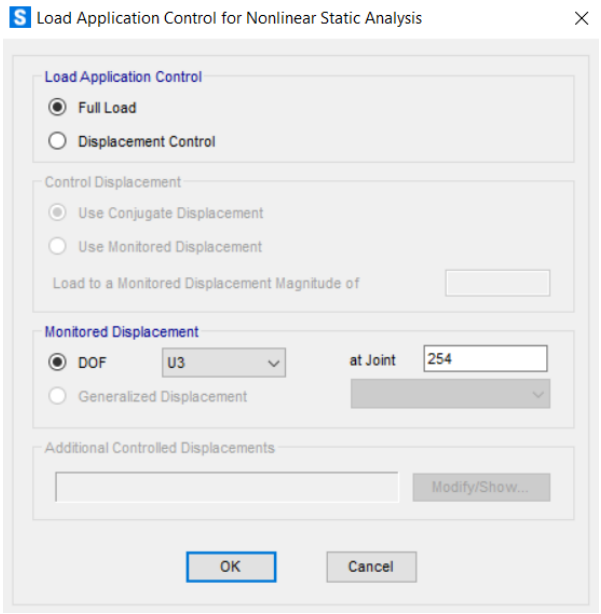
f. *Mass Source* : *MSSSRC1*

g. *Loads Applied* : *Load Pattern – DEAD – 1*
Load Pattern – ADEAD – 1
Load Pattern – LIVE – 0,5



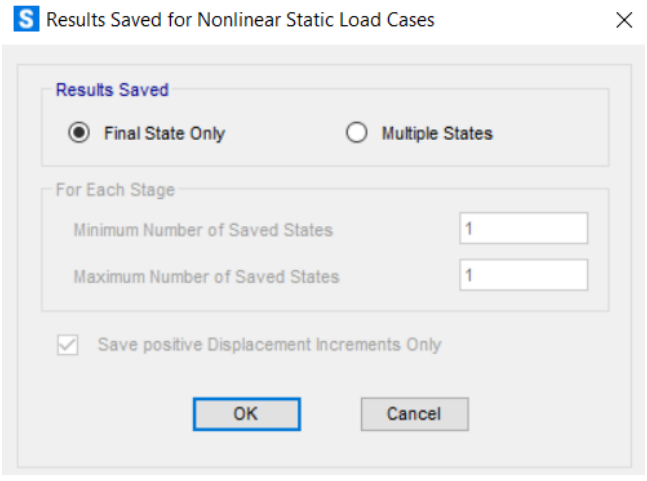
Gambar 5.30 *Load Case GRAVITY*

h. *Load Application* : klik *Modify/Show* – pada *Load Application Control for Nonlinear Static Analysis* pilih *Full Load* – pada *Monitored Displacement* pilih *DOF U3* pada *Joint* 254 – *OK*. *Input* parameter *load application* dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.



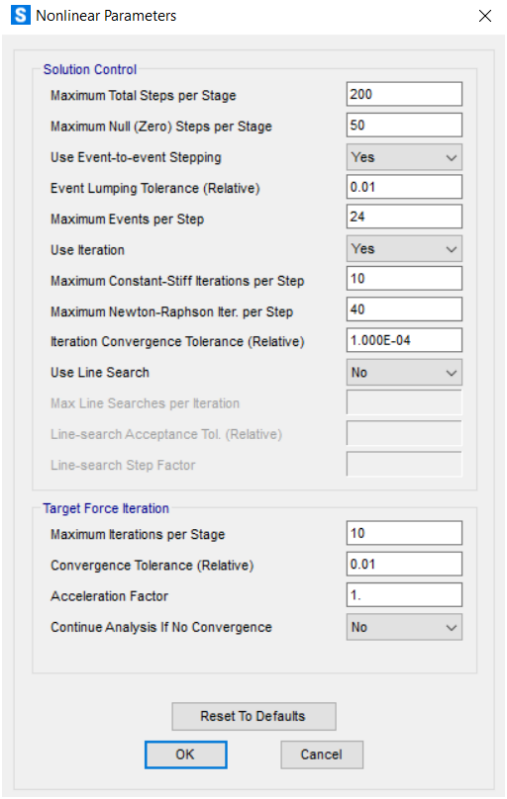
Gambar 5.31 *Load Application GRAVITY*

i. *Result Saved* : klik *Modify/Show* – pada *Result Saved* pilih *Final State Only* – *OK*. *Input* parameter *result saved* dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.



Gambar 5.32 *Result Saved GRAVITY*

j. *Nonlinear Parameters* : klik *Modify/Show* – parameter sesuai pada gambar berikut. *Input* parameter *nonlinear parameters* dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut.

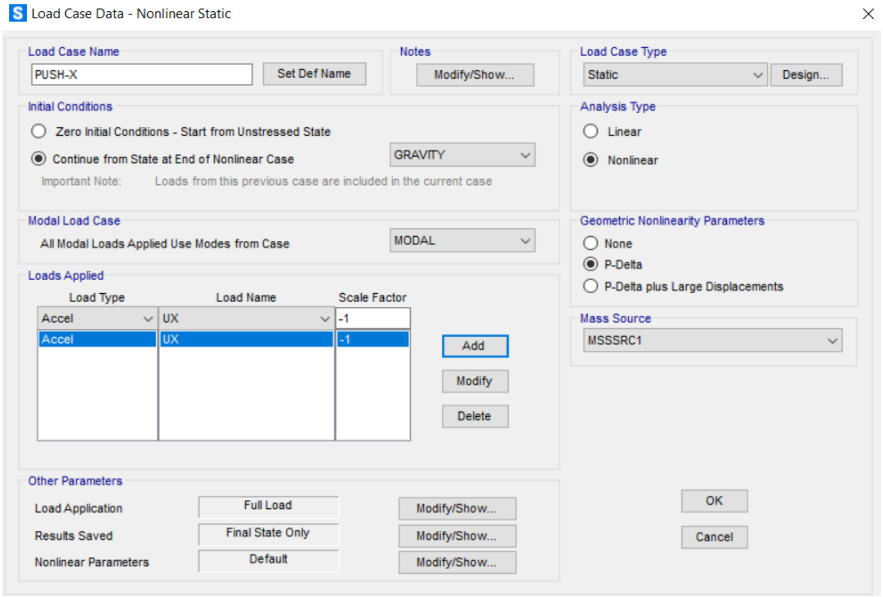


Gambar 5.33 *Nonlinear Paramaters GRAVITY*

2. Pendefinisian Beban Lateral *Pushover* (*PUSHOVER X* dan *PUSHOVER Y*)

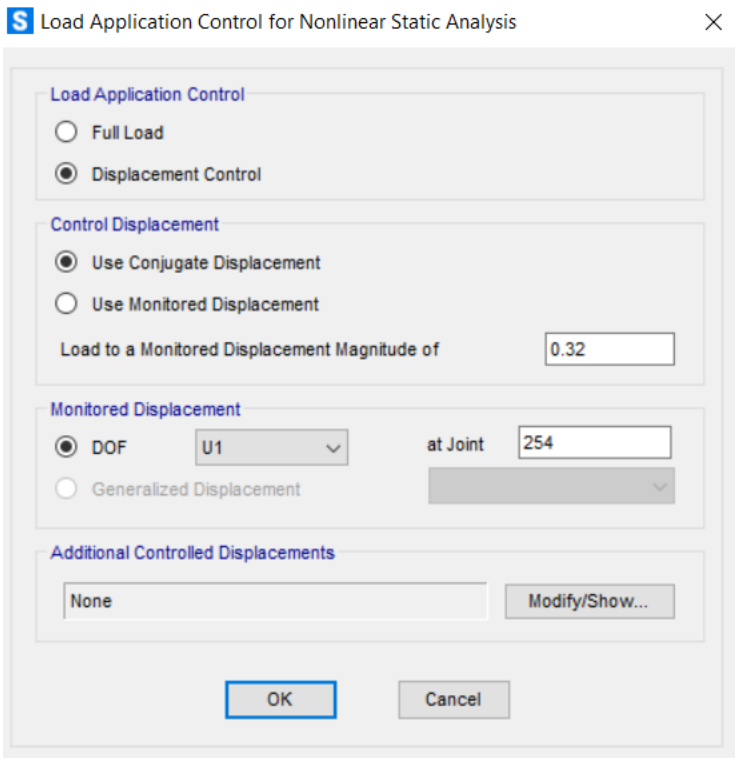
   Pendefinisian beban lateral pada *software* SAP2000 dilakukan dengan tahapan klik *Define – Load Case – Add New Load Case* - Isi data *Load Case*. Data *Load Case* dilakukan modifikasi untuk nilai *PUSHOVER X* sesuai dengan tahapan berikut dan dapat dilihat pada Gambar 5.34 berikut.

   a. *Load Case Name* : *PUSH-X*
   b. *Load Case Type* : *Static*
   c. *Initial Conditions* : *Continue from State at End of Nonlinear Case – GRAVITY*
   d. *Analysis Type* : *Nonlinear*
   e. *Geometric Nonlinearity Parameters* : *P-Delta*
   f. *Mass Source* : *MSSSRC1*
   g. *Loads Applied* : *Load Type Accel – UX – -1*



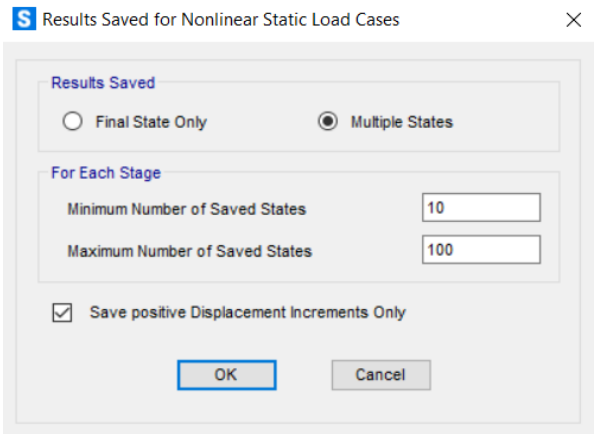
Gambar 5.34 *Load Case PUSHOVER X*

h. *Load Application* : klik *Modify/Show* – pada *Load Application Control* pilih *Displacement Control* – pada *Control Displacement* pilih *Use Conjugate Displacement* dengan *Monitored Displacement Magnitude* sebesar 2% dari tinggi bangunan 16 m yaitu 0,32 m – pada *Monitored Displacement* pilih *DOF U1* pada *Joint* 254 – *OK*. *Input* parameter *load application* dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut.



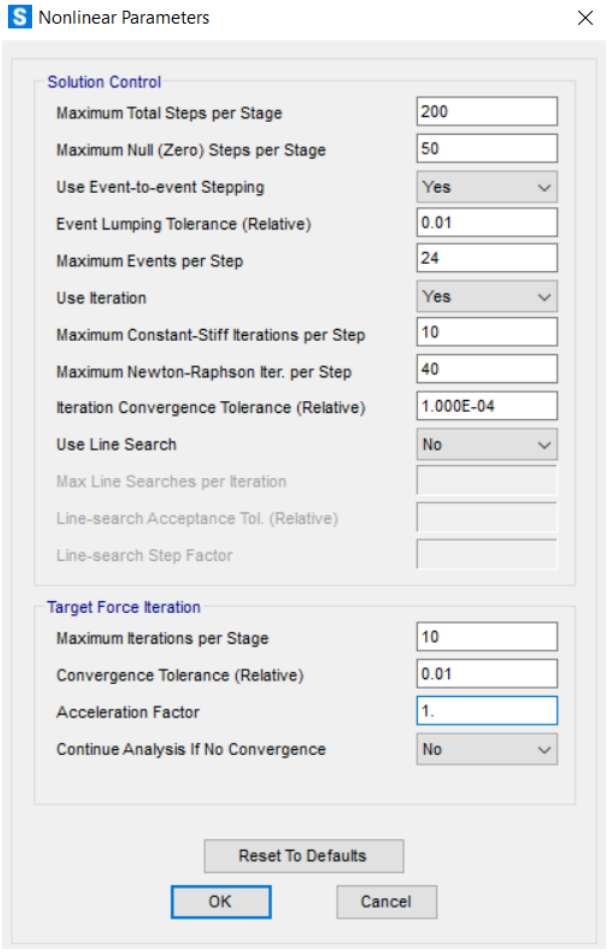
Gambar 5.35 ***Load Application PUSHOVER X***

i. *Result Saved* : klik *Modify/Show* – pada *Result Saved* pilih *Multiple States* – pada *For Each Stage minimum number* diisi dengan 10 dan *maximum number* diisi 100 – *OK. Input* parameter *result saved* dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut.



Gambar 5.36 ***Result Saved PUSHOVER X***

k. *Nonlinear Parameters* : klik *Modify/Show* –parameter sesuai pada gambar berikut. *Input* parameter *nonlinear parameters* dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut.



Gambar 5.37 *Nonlinear Parameters PUSHOVER X*

Kemudian dilakukan pengisian data *load case* dan modifikasi nilai untuk *PUSHOVER Y* dapat disesuaikan seperti tahapan berikut. *Input* parameter *load case* dapat dilihat pada Gambar 5.38 berikut.

l. *Load Case Name* : *PUSH-Y*

m. *Load Case Type* : *Static*

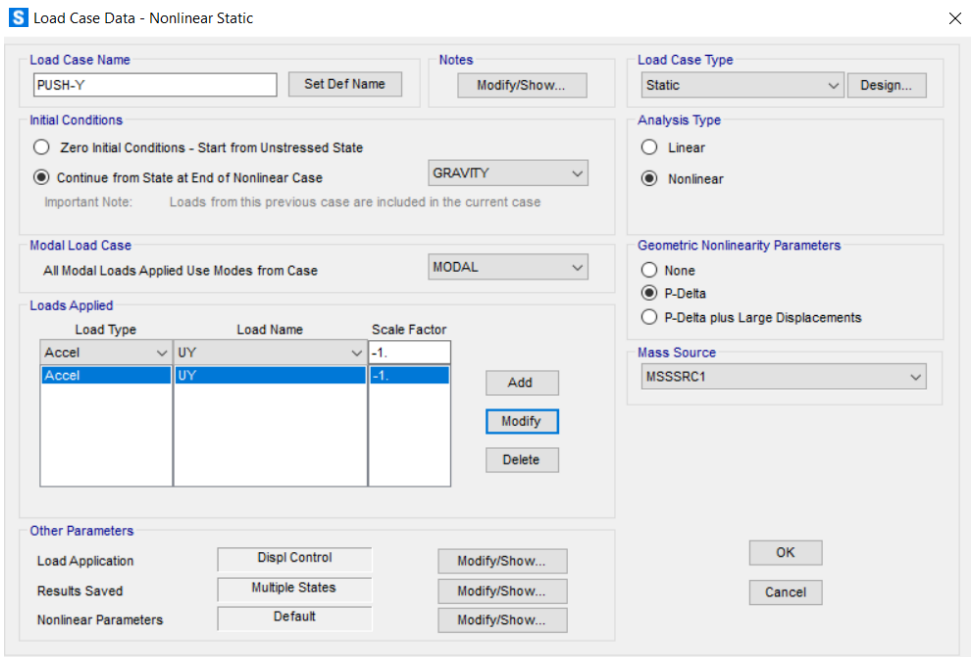
n. *Initial Conditions* : *Continue from State at End of Nonlinear Case – GRAVITY*

o. *Analysis Type* : *Nonlinear*

p. *Geometric Nonlinearity Parameters* : *P-Delta*

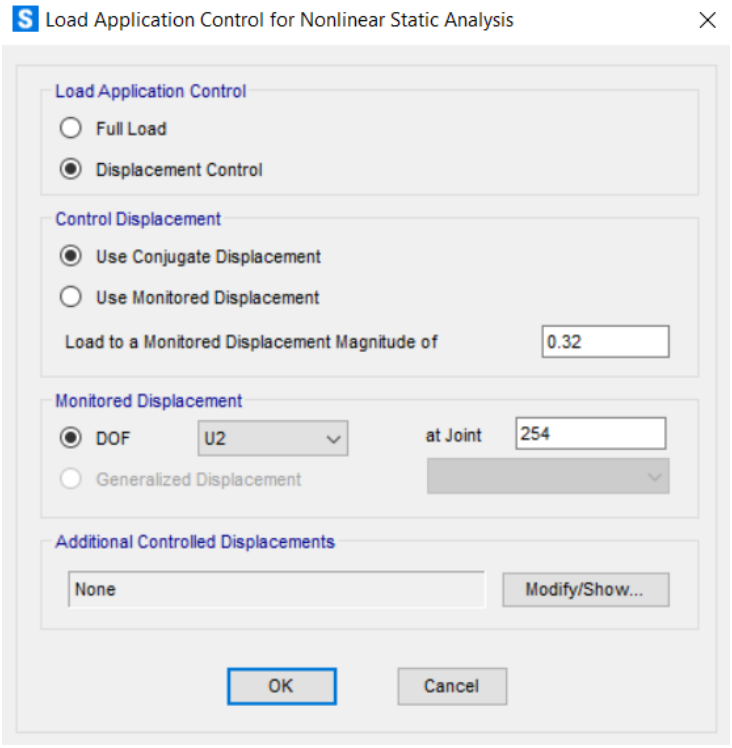
q. *Mass Source* : *MSSSRC1*

r. *Loads Applied* : *Load Type Accel – UY – -1*



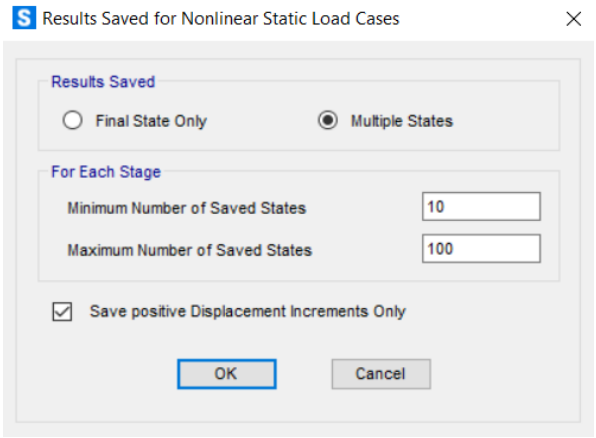
Gambar 5.38 *Load Case PUSHOVER Y*

s. *Load Application* : klik *Modify/Show* – pada *Load Application Control* pilih *Displacement Control* – pada *Control Displacement* pilih *Use Conjugate Displacement* dengan *Monitored Displacement Magnitude* sebesar 2% dari tinggi bangunan 16 m yaitu 0,32 m – pada *Monitored Displacement* pilih *DOF U1* pada *Joint* 254 – *OK*. *Input* parameter *load application* dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut.



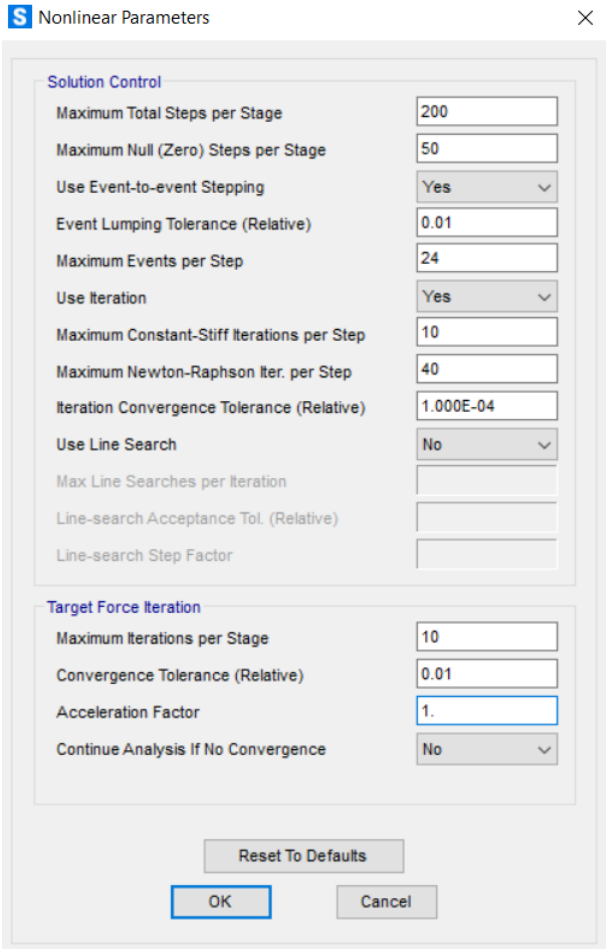
Gambar 5.39 *Load Application PUSHOVER Y*

t. *Result Saved* : klik *Modify/Show* – pada *Result Saved* pilih *Multiple States* – pada *For Each Stage minimum number* diisi dengan 10 dan *maximum number* diisi 100 – *OK*. *Input* parameter *result saved* dapat dilihat pada Gambar 5.40 berikut.



Gambar 5.40 *Result Saved PUSHOVER Y*

u. *Nonlinear Parameters* : klik *Modify/Show* –parameter sesuai pada gambar berikut. *Input* parameter *nonlinear parameters* dapat dilihat pada Gambar 5.41 berikut.



Gambar 5.41 *Nonlinear Parameters PUSHOVER Y*

5.5.2 Pendefinisian Sendi Plastis (*Hinge*)

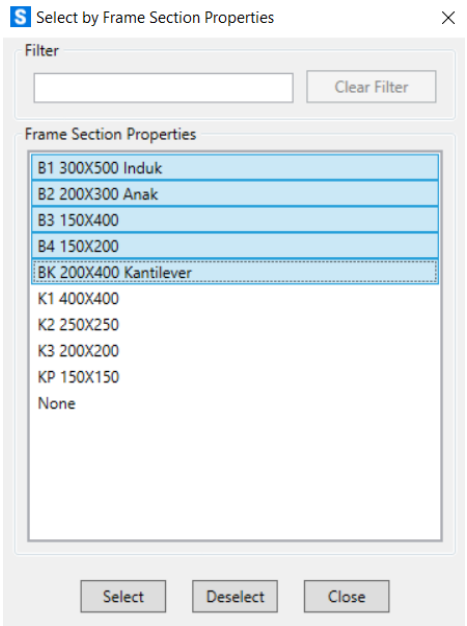
Pendefinisian sendi plastis (*plastic hinge*) pada setiap elemen struktur diperlukan sebelum melakukan analisis *pushover*. Pendefinisian sendi plastis dilakukan dengan pemodelan yang didasarkan pada perilaku struktur yang akan sangat berpengaruh pada jenis struktur yang didesain.

Struktur bangunan akan didesain dengan perilaku sebagai *beam sway mechanism*, atau ketika struktur menerima beban lateral, maka balok akan leleh terlebih dahulu pada ujung-ujungnya kemudia baru dilanjutkan dengan pada kolom.

1. Pendefinisian Sendi Plastis Pada Balok

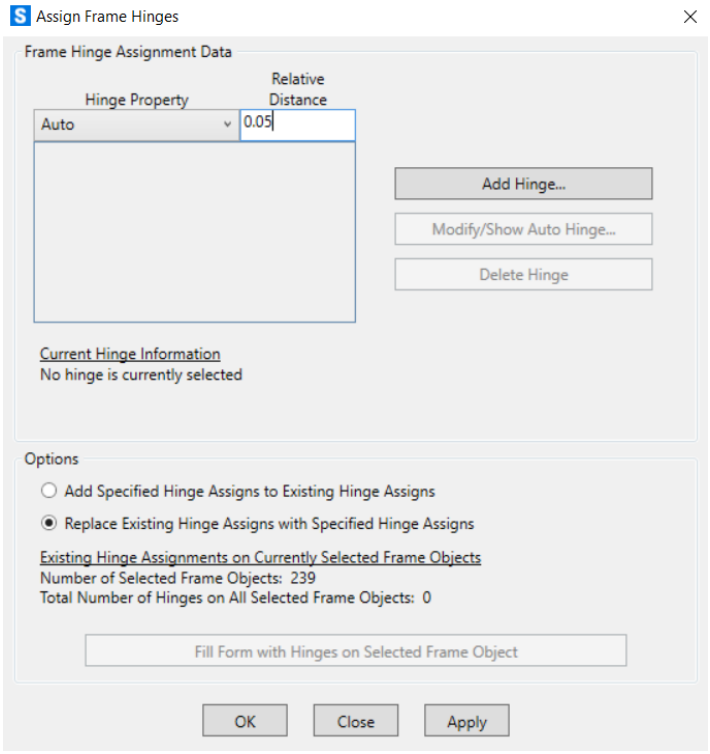
   Pendefinisian sendi plastis pada balok menggunakan *software* SAP2000 dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

   a. Klik *Select* – *Properties* – *Frame Section* – pilih semua balok yang sudah dimodelkan sebelumnya. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.42 berikut.



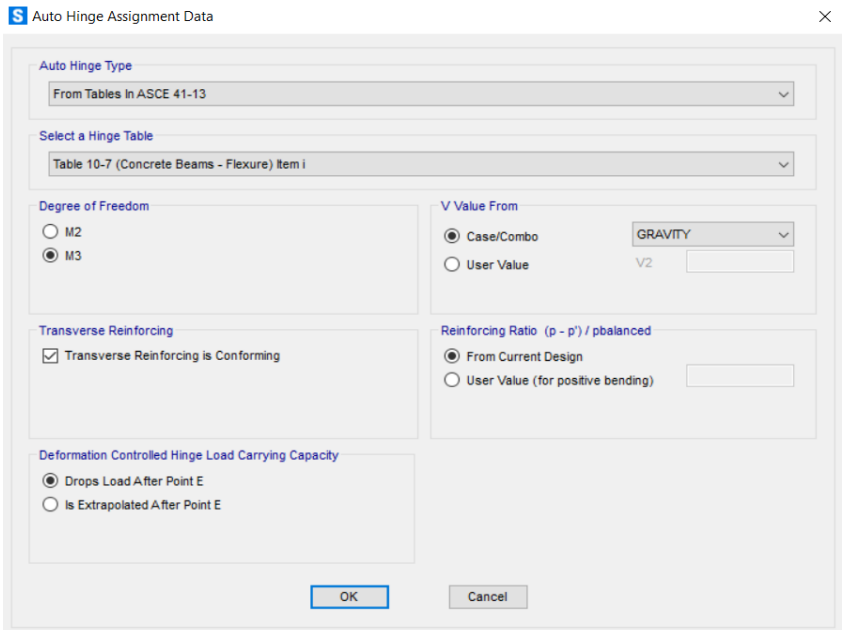
Gambar 5.42 *Select Frame* Balok

   b. Klik *Assign* – *Frame* – *Hinge* – Isi *Frame Hinge Assignment Data* dengan *Relative Distance*: 0,05 – *Add Hinge*. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut.



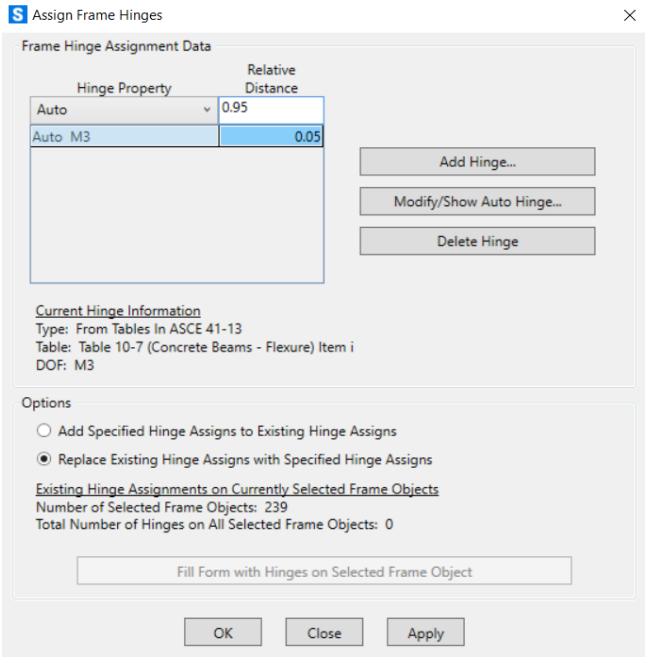
Gambar 5.43 *Input Frame Hinge* Balok Tumpuan Kiri

c. Pada tampilan *Auto Hinge Assignment Data* terdapat opsi *Auto Hinge Type* pilih *From Tables in ASCE 41-13* – pada *Select a Hinge Table* pilih *Table 10-7 (Concrete Beams – Flexure) item I* – pada *Degree of Freedom* pilih *M3* – pada *V Value From* pilih *Case/Combo GRAVITY – OK*. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut.



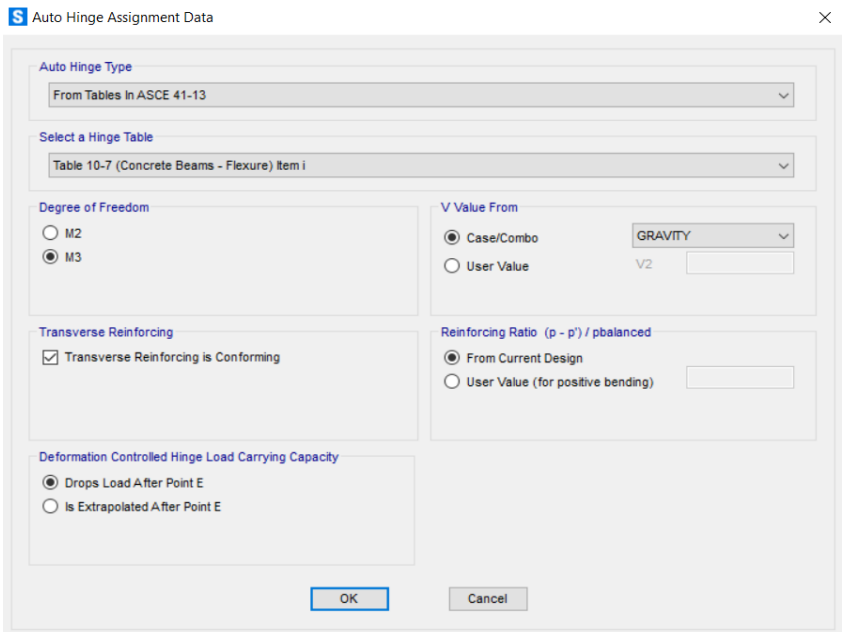
Gambar 5.44 *Setting Hinge* Balok Tumpuan Kiri

d. Klik *Assign* – *Frame* – *Hinge* – Isi *Frame Hinge Assignment Data* dengan *Relative Distance*: 0,95 – *Add Hinge*. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.45 berikut.



Gambar 5.45 *Input Frame Hinge* Balok Tumpuan Kanan

e. Pada tampilan *Auto Hinge Assignment Data* terdapat opsi *Auto Hinge Type* pilih *From Tables in ASCE 41-13* – pada *Select a Hinge Table* pilih *Table 10-7 (Concrete Beams – Flexure) item I* – pada *Degree of Freedom* pilih *M3* – pada *V Value From* pilih *Case/Combo GRAVITY* – *OK*. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.46 berikut.



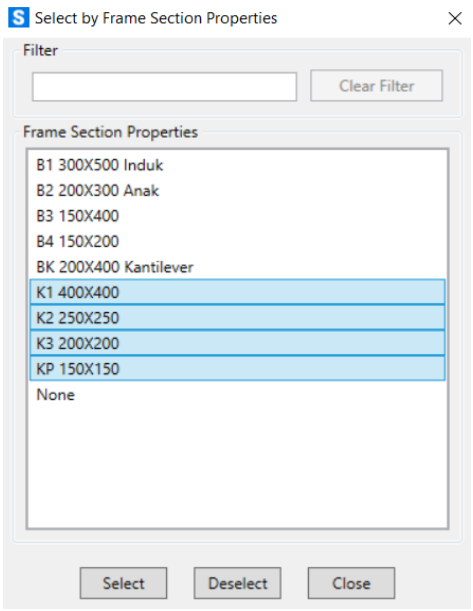
Gambar 5.46 *Setting Hinge* Balok Tumpuan Kanan

Terdapat 2 sendi plastis pada balok dengan *relative distance* 0,05 dan 0,95 pada *frame hinge assignment data*, hal ini menunjukkan bahwa sendi plastis pada balok berposisi di ujung-ujung elemen balok.

2. Pendefinisian Sendi Plastis Pada Kolom

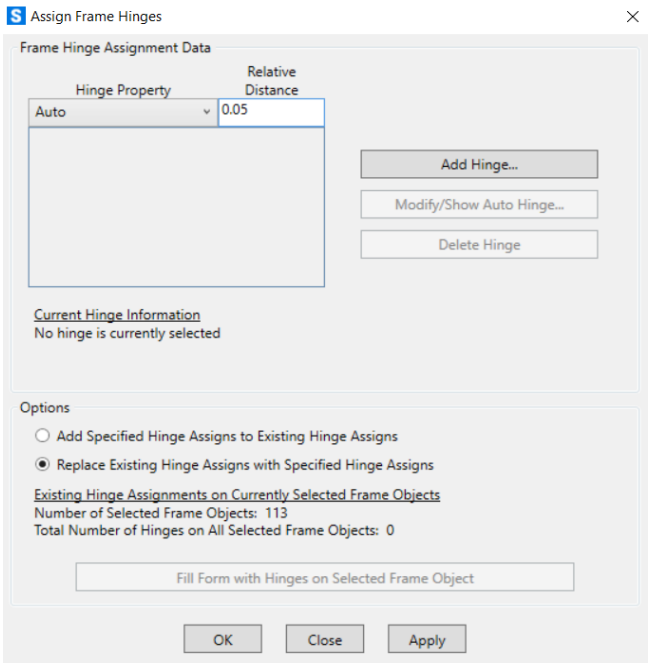
   Pendefinisian sendi plastis pada kolom menggunakan *software* SAP2000 dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

   a. Klik *Selecet* – *Properties* – *Frame Section* – pilih semua kolom yang sudah dimodelkan sebelumnya. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.47 berikut.



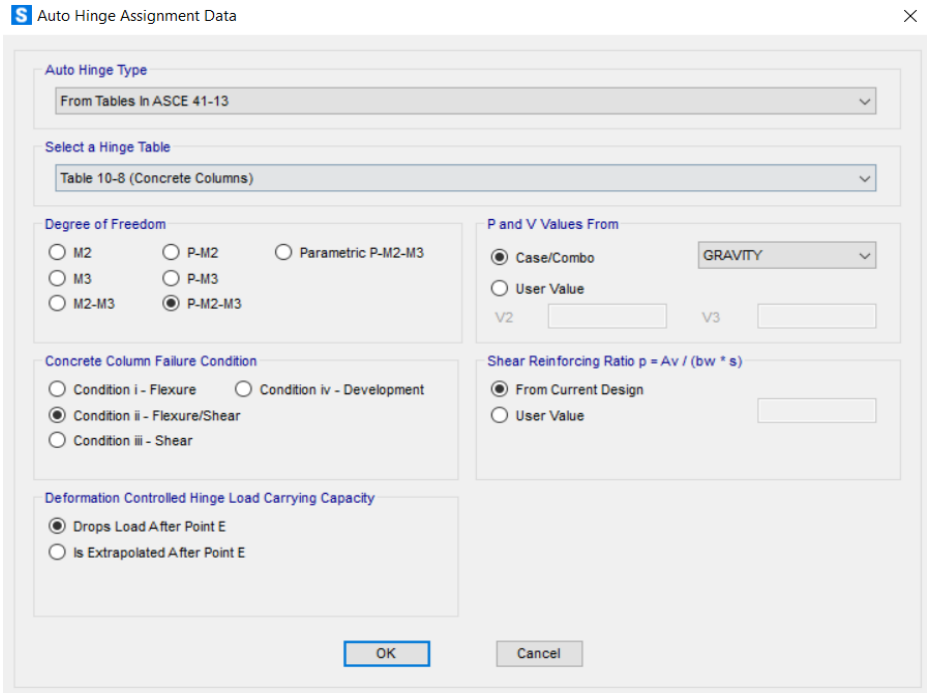
Gambar 5.47 *Select Frame* Kolom

b. Klik *Assign* – *Frame* – *Hinge* – Isi *Frame Hinge Assignment Data* dengan *Relative Distance*: 0,05 – *Add Hinge*. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.48 berikut.



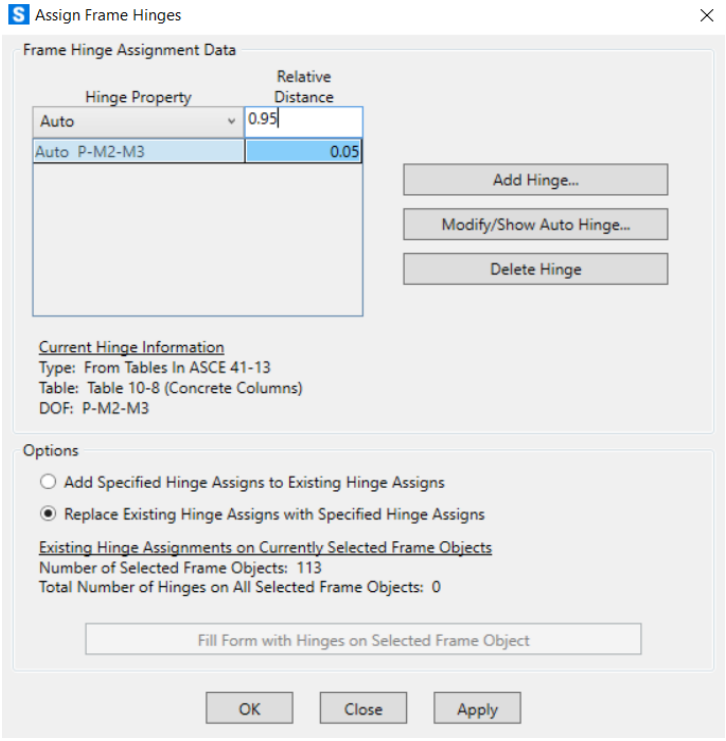
Gambar 5.48 *Input Frame Hinge* Kolom Tumpuan Bawah

c. Pada tampilan *Auto Hinge Assignment Data* terdapat opsi *Auto Hinge Type* pilih *From Tables in ASCE 41-13* – pada *Select a Hinge Table* pilih *Table 10-8 (Concrete Columns)* – pada *Degree of Freedom* pilih *P-M2-M3* – pada *V Value From* pilih *Case/Combo GRAVITY* – pada *Concrete Column Failure* Condition pilih *Condition ii – Flexure/Shear* – OK. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.49 berikut.



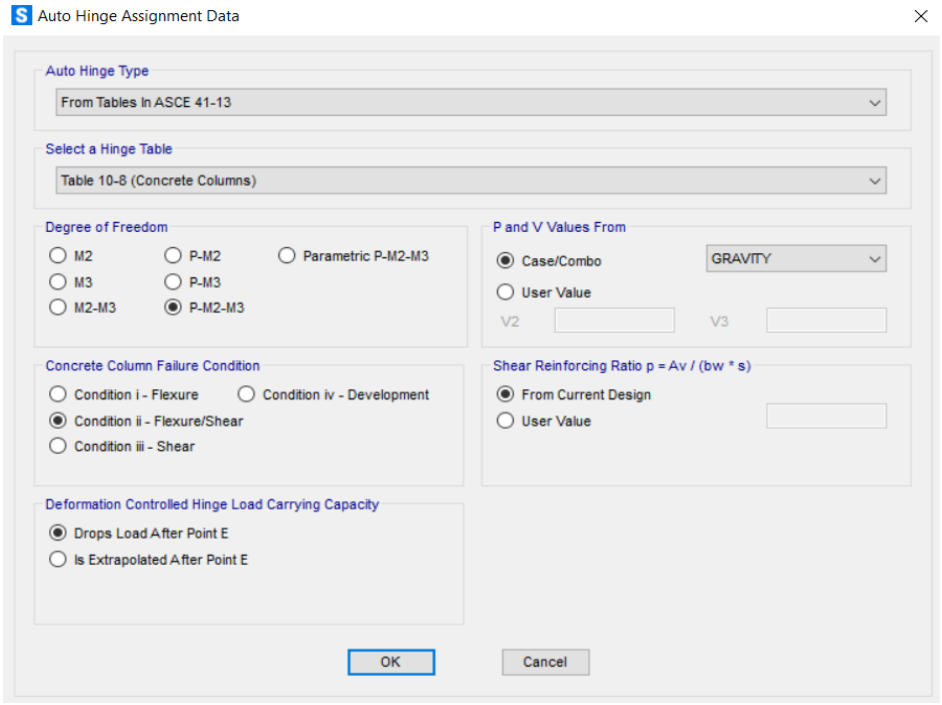
Gambar 5.49 *Setting Hinge* Kolom Tumpuan Bawah

d. Klik *Assign* – *Frame* – *Hinge* – Isi *Frame Hinge Assignment Data* dengan *Relative Distance*: 0,95 – *Add Hinge*. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.50 berikut.



Gambar 5.50 *Input Frame Hinge* Kolom Tumpuan Atas

e. Pada tampilan *Auto Hinge Assignment Data* terdapat opsi *Auto Hinge Type* pilih *From Tables in ASCE 41-13* – pada *Select a Hinge Table* pilih *Table 10-8 (Concrete Columns)* – pada *Degree of Freedom* pilih *P-M2-M3* – pada *V Value From* pilih *Case/Combo GRAVITY* – pada *Concrete Column Failure* Condition pilih *Condition ii – Flexure/Shear* – OK. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.51 berikut.

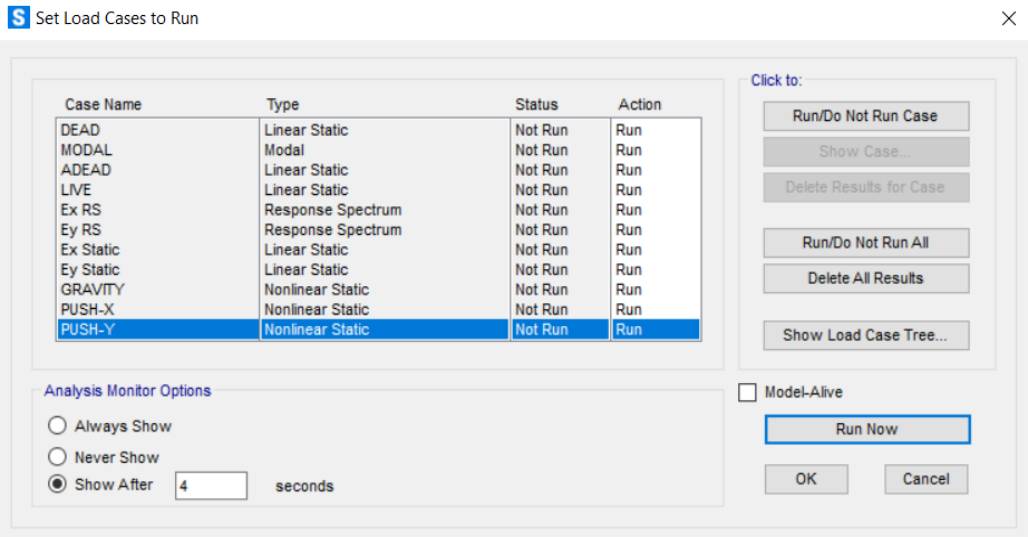


Gambar 5.51 *Setting Hinge* Kolom Tumpuan Atas

Terdapat 2 sendi plastis pada kolom dengan *relative distance* 0,05 dan 0,95 pada *frame hinge assignment data*, hal ini menunjukkan bahwa sendi plastis pada balok berposisi di ujung-ujung elemen kolom.

5.5.3 *Running Pushover Analysis*

Running pushover analysis dilakukan dengan tahapan klik *Analyze – Run Analyze* – pilih *Case Name GRAVITY, PUSH-X*, dan *PUSH-Y (Nonlinear Static)* dengan *Action Run* dan selain itu pilih *Action* menjadi *Do Not Run – Run Now*. Proses *running program* akan dikerjakan otomatis oleh *software* SAP2000 hingga selesai. Tampilan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.52 berikut.



Gambar 5.52 *Running Analysis*

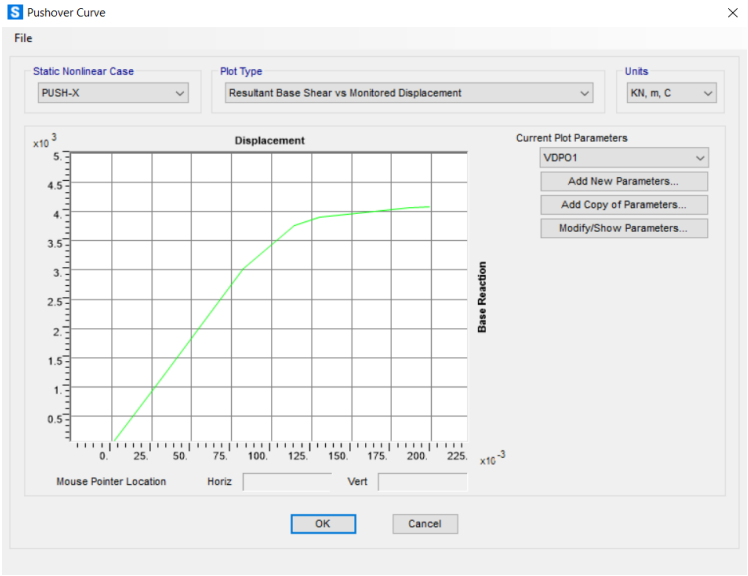
5.6 Hasil *Pushover Analysis*

Analisis *pushover* yang telah selesai dan berhasil di *running* akan menghasilkan luaran berupa kurva kapasitas dan nilai *performance point*. Nilai *performance point* akan digunakan dalam menentukan tingkat kinerja struktur menggunakan metode *ATC-40*. Hasil akhir dari *pushover analysis* juga akan menampilkan skema sendi plastis yang terjadi pada struktur bangunan.

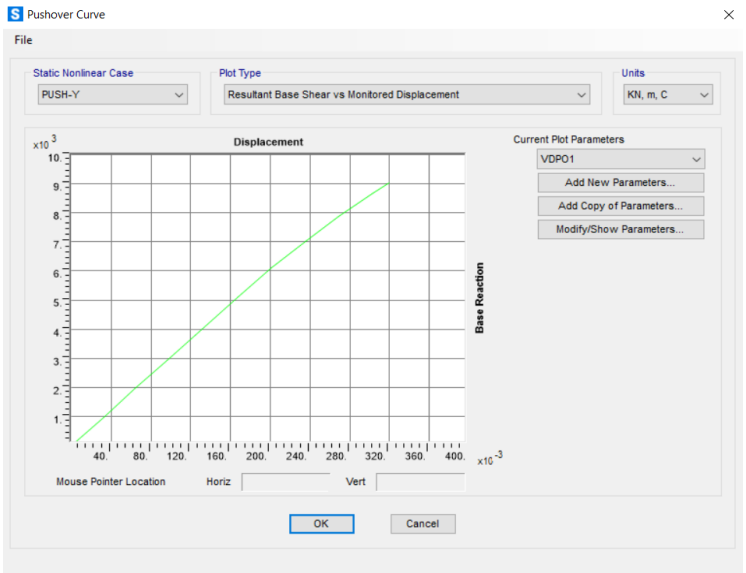
5.6.1 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas (*capacity curve*) merupakan gambaran dari hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan lateral lantai hingga lateral atap. Kurva kapasitas dari hasil *pushover analysis* menunjukkan bahwa besarnya kekuatan struktur bergantung pada kemampuan momen deformasi dari setiap komponen struktur.

Kurva kapasitas dapat ditampilkan pada *software* SAP2000 dengan tahapan klik *Display – Show Static Pushover Curve* – maka kurva kapasitas akan muncul seacara otomatis dari masing-masing desain pembebanan. Hasil kurva kapasitas pada struktur gedung ini dapat dilihat pada Gambar 5.53 dan Gambar 5.54 berikut.



Gambar 5.53 Kurva Kapasitas *PUSHOVER X*



Gambar 5.54 Kurva Kapasitas *PUSHOVER Y*

Nilai dari *displacement (D)* dan *base force (V)* dari kurva kapasitas dapat ditampilkan dengan klik *File – Display Tables*. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.9 Data Kurva Kapasitas *PUSHOVER X*

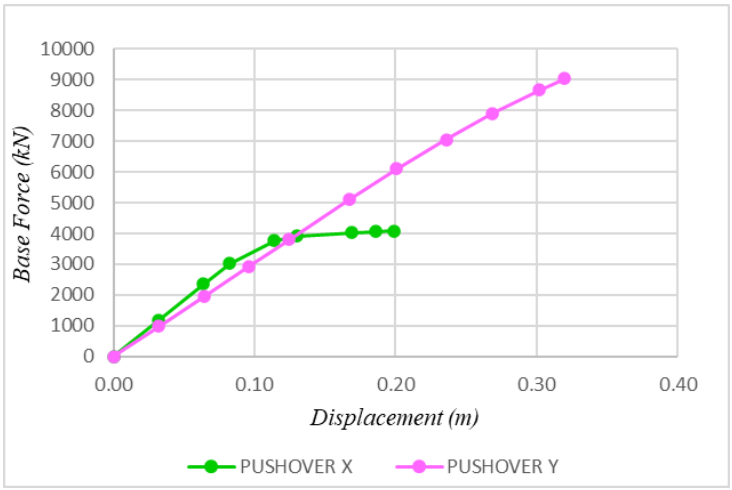
Steps	*Displacement (m)*	*Base Force (kN)*	Perubahan Level Kerusakan								Total
			A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	> E	
0	-0,00023	0	696	0	0	0	0	0	0	0	696
1	0,03178	1176,013	696	0	0	0	0	0	0	0	696
2	0,06378	2352,032	696	0	0	0	0	0	0	0	696
3	0,08218	3028,378	693	3	0	0	0	0	0	0	696
4	0,11405	3769,246	648	30	18	0	0	0	0	0	696
5	0,12984	3906,665	629	32	35	0	0	0	0	0	696
6	0,16912	4018,288	620	10	66	0	0	0	0	0	696
7	0,18553	4062,882	616	14	66	0	0	0	0	0	696
8	0,19861	4080,403	613	17	65	0	0	1	0	0	696

Tabel 5.10 Data Kurva Kapasitas *PUSHOVER Y*

Steps	*Displacement (m)*	*Base Force (kN)*	Perubahan Level Kerusakan								Total
			A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	> E	
0	$8{,}38 \times 10^{-6}$	0	696	0	0	0	0	0	0	0	696
1	0,03201	979,182	696	0	0	0	0	0	0	0	696
2	0,06401	1958,466	696	0	0	0	0	0	0	0	696
3	0,09601	2937,849	696	0	0	0	0	0	0	0	696
4	0,12444	3808,325	694	2	0	0	0	0	0	0	696
5	0,16724	5100,439	690	6	0	0	0	0	0	0	696
6	0,20084	6100,668	682	14	0	0	0	0	0	0	696
7	0,23591	7049,924	671	23	2	0	0	0	0	0	696
8	0,26893	7892,094	656	38	2	0	0	0	0	0	696
9	0,30203	8655,256	640	48	8	0	0	0	0	0	696
10	0,32000	9030,155	634	53	9	0	0	0	0	0	696

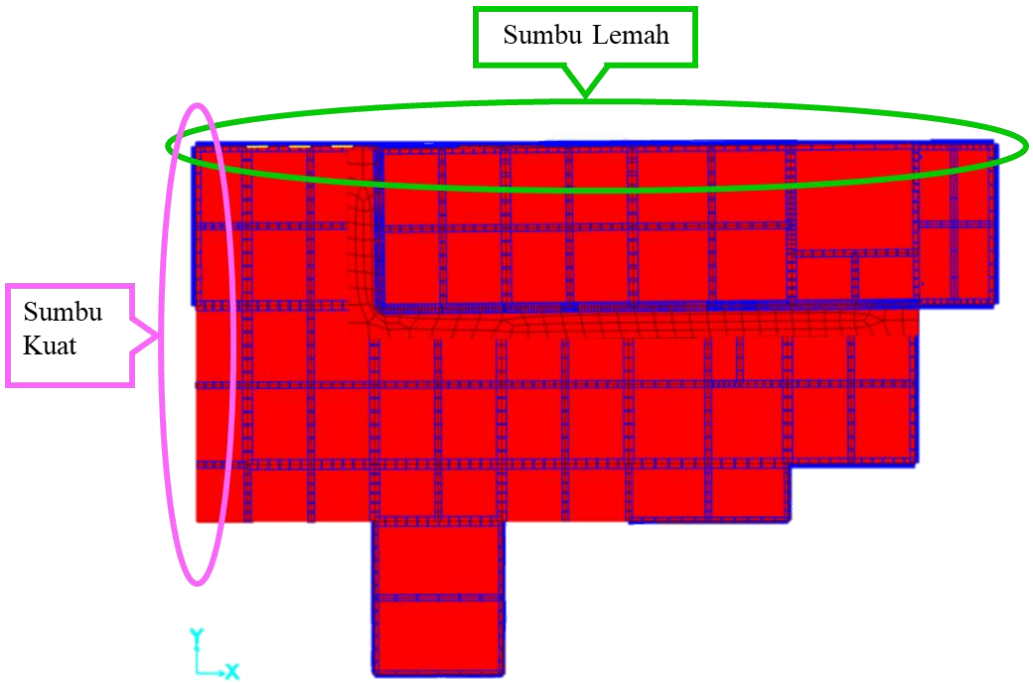
Berdasarkan Tabel 5.9 untuk *pushover* arah X gaya lateral maksimum yang mampu ditahan oleh struktur yaitu sebesar 4080,403 kN yang terjadi pada *steps – 8* dengan nilai *displacement* yaitu sebesar 0,19861 m, pada Tabel 5.10 untuk *pushover* arah Y gaya lateral maksimum yang mampu ditahan oleh struktur yaitu

sebesar 9030,155 kN yang terjadi pada *steps – 10* dengan nilai *displacement* yaitu sebesar 0,32000 m. Perbandingan kurva kapasitas *pushover* arah X dan arah Y dapat dilihat pada Gambar 5.55 berikut.



Gambar 5.55 Perbandingan Kurva Kapasitas Arah X dan Arah Y

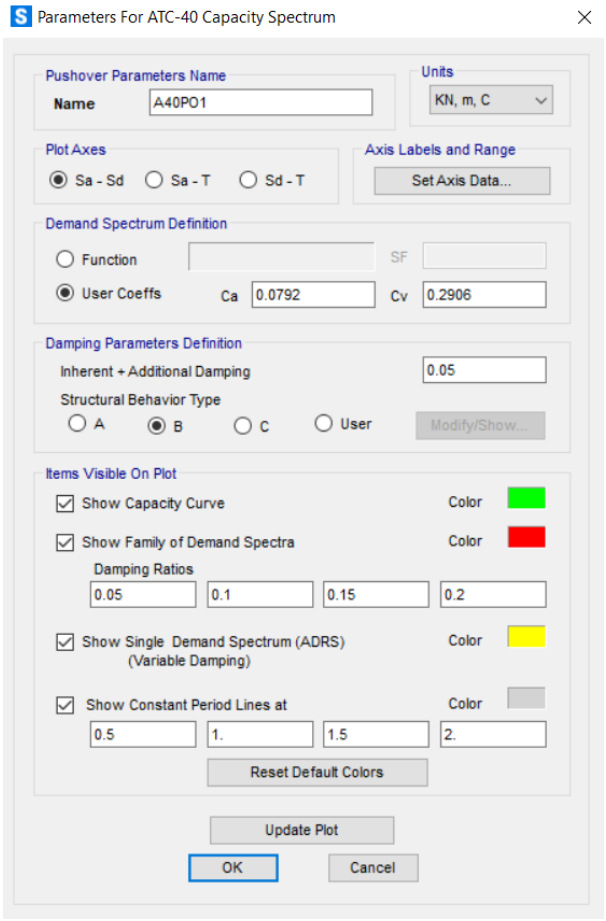
Berdasarkan Gambar 5.54 terlihat bahwa kurva *pushover* untuk arah Y lebih tegak atau lebih kaku daripada *pushover* arah X. Sumbu kuat dibuktikan dengan perlawanan lentur yang dapat menahan beban yang lebih besar. Tahanan lentur ini dipengaruhi oleh momen inersia. Sehingga diperoleh bahwa sumbu Y memiliki perlawanan lentur yang lebih besar dibanding sumbu X, yang mengakibatkan beban yang mampu dilawan oleh momen lentur arah Y lebih besar dari arah X. Sumbu kuat dan sumbuh lemah pada struktur gedung ini dapat dilihat pada Gambar 5.56 berikut.



Gambar 5.56 Sumbu Kuat dan Sumbu Lemah Struktur

5.6.2 *Performance Point* Metode *ATC-40*

Titik kinerja bangunan dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Capacity Spectrum* sesuai *ATC-40.* Kurva kapasitas yang diperoleh setelah analisis *pushover* adalah kurva hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan yang dikonversi ke dalaam bentuk spektrum kapasitas dengan format *ADRS (Acceleration Displacement Respon Spectrum)* yaitu *Sa* dan *Sd* (sebagai spektrum kapasitas). Parameter *capacity spectrum* dapat diubah dengan tahapan klik *Define – Pushover Parameters Sets – ATC-40 Capacity Spectrum – Add New Parameters* – isi kotak dialog sesuai dengan Gambar 5.57 – *OK.*



Gambar 5.57 *Parameters for ATC-40 Capacity Spectrum*

Pada tampilan *parameters for ATC-40 Capacity Spectrum* terdapat beberapa parameter yang perlu disesuaikan yaitu sebagai berikut.

1. *Plot Area* : *Sa – Sd*
2. *Demand Spectrum Definition* : *User Coeffs*

   (Berdasarkan *ATC-40* Pasal 4.4.3.1)

   C_A = 0,4 *x* S_{MS}

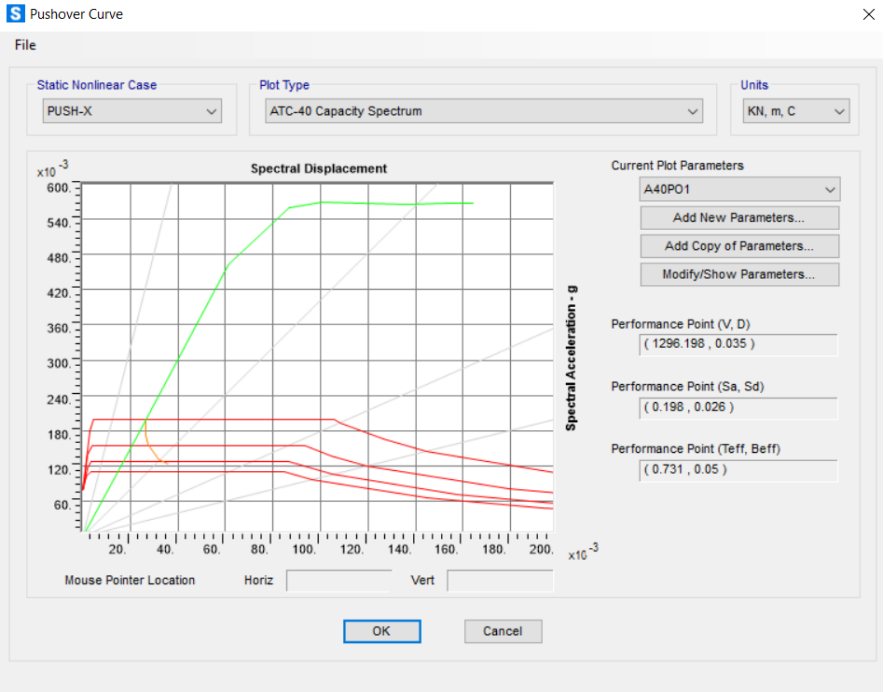
   = 0,4 x 1,980

   = 0,0792 g

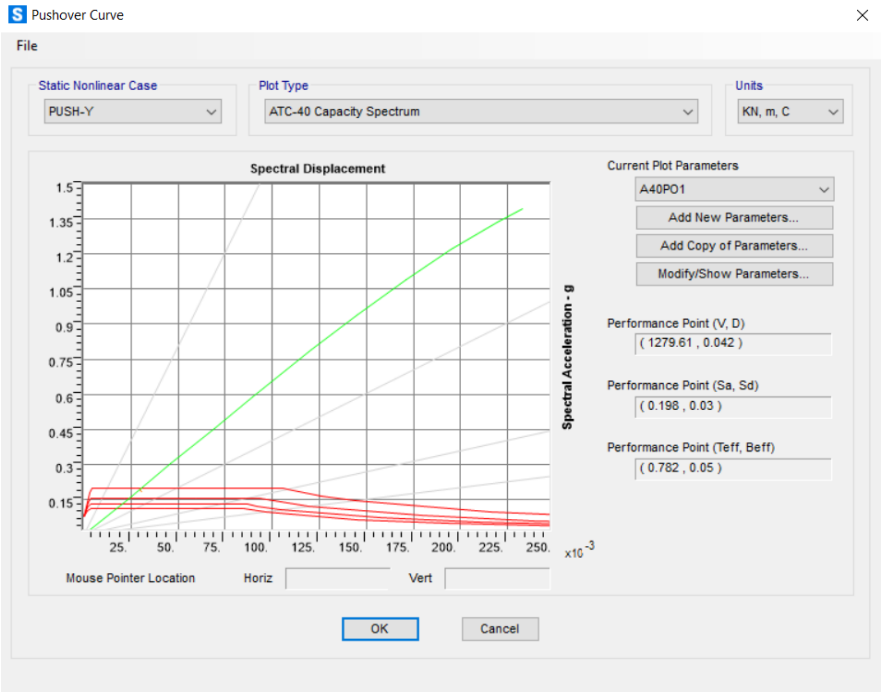
   C_V = S_{M1}

   = 0,2906 g
3. *Structural Behavior Type* : B

Tahapan selanjutnya untuk menampilkan hasil modifikasi spektrum kapasitas pada *software* SAP2000 dapat dilakukan dengan klik *Display – Show Static Pushover Curve* – pada *Plot Type* pilih *ATC-40 Capacity Spectrum*. Kurva *Spectrum Capacity* untuk arah X dan arah Y dapat dilihat pada Gambar 5.58 dan Gambar 5.59 berikut.



Gambar 5.58 *Capacity Spectrum* Arah X



Gambar 5.59 *Capacity Spectrum* Arah Y

Berdasarkan kurva di atas dapat diperoleh tabel *output* hasil kurva *capacity spectrum* dan *demand spectrum* untuk arah X dan arah Y yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12 berikut.

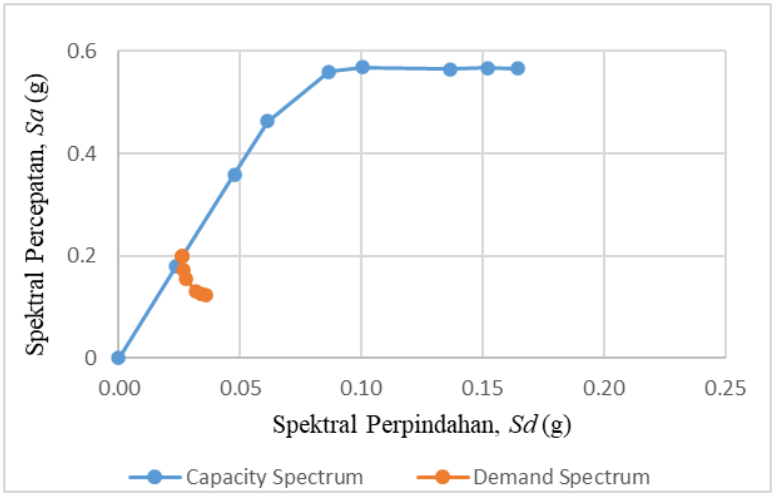
Tabel 5.11 *Output Capacity Spectrum* dan *Demand Spectrum* Arah X

Steps	S_d *(C)*	S_a *(C)*	S_d *(D)*	S_a *(D)*
0	0	0	0,026287	0,198
1	0,02385	0,179641	0,026287	0,198
2	0,047699	0,359282	0,026287	0,198
3	0,061416	0,462595	0,026287	0,198
4	0,086734	0,560072	0,026640	0,172027
5	0,100404	0,568755	0,027510	0,155837
6	0,136513	0,565163	0,031785	0,131589
7	0,151873	0,567137	0,033963	0,126827
8	0,164353	0,566648	0,035791	0,123398

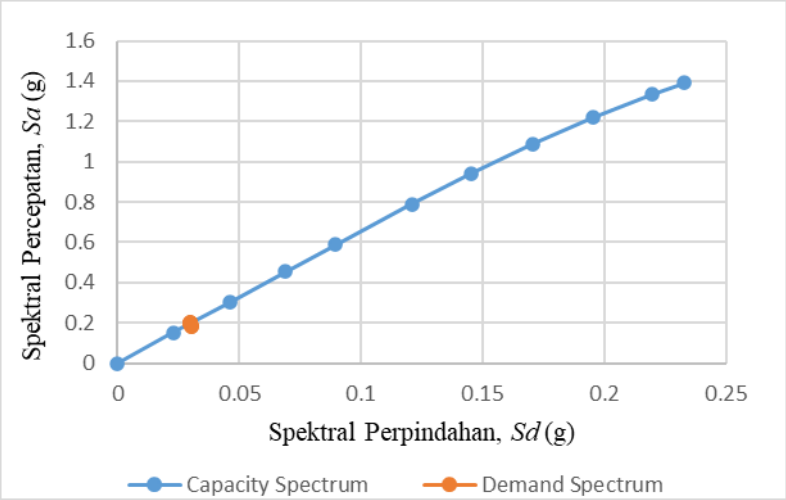
Tabel 5.12 *Output Capacity Spectrum* dan *Demand Spectrum* Arah Y

Steps	S_d *(C)*	S_a *(C)*	S_d *(D)*	S_a *(D)*
0	0	0	0,030090	0,198000
1	0,023025	0,151512	0,030090	0,198000
2	0,046051	0,303053	0,030088	0,198000
3	0,069079	0,454624	0,030086	0,198000
4	0,089546	0,589351	0,030084	0,198000
5	0,120877	0,788654	0,030024	0,195890
6	0,145378	0,942898	0,030084	0,195118
7	0,170768	1,088949	0,030123	0,192090
8	0,195060	1,217965	0,030231	0,188766
9	0,219527	1,334785	0,030407	0,184884
10	0,232819	1,392383	0,030531	0,182595

Berdasarkan Tabel 5.11 dan Tabel 5.12 dapat dilihat terdapat parameter S_d dan S_a (C) serta parameter S_d dan S_a (D). Parameter tersebut kemudian diplot ke dalam grafik untuk menentukan titik bertemunya grafik S_d dan S_a (C) dengan grafik S_d dan S_a (D), titik pertemuan tersebut disebut dengan *performance point*. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.60 dan Gambar 5.61 sebagai berikut.



Gambar 5.60 *Capacity Spectrum* dan *Demand Spectrum* Arah X



Gambar 5.61 *Capacity Spectrum* dan *Demand Spectrum* Arah Y

Berdasarkan Gambar 5.60 hasil *pushover* untuk arah X diperoleh nilai δ_t = 0,035 m dan gaya geser dasar target *Vt* = 1296,198 kN > *V* = 99,520 kN maka dalam metode *capacity spectrum* perilaku struktur arah X pada gempa rencana mengalami kondisi elastis.

Berdasarkan Gambar 5.61 hasil *pushover* untuk arah Y diperoleh nilai δ_t = 0,042 m dan gaya geser dasar taget *Vt* = 1279,610 kN > *V* = 99,520 kN maka dalam metode *capacity spectrum* perilaku struktur arah Y pada gempa rencana mengalami kondisi elastis.

Nilai *performance point*, waktu getar alami efektif dan redaman efektif berdasarkan *ATC-40* dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 *Performance Point* Metode *ATC-40*

Beban	*Base Shear (kN)*	*Performance Point*					
		Vt	δ_t	S_a	S_d	*T eff*	*β eff*
Pushover X	99,520	1296,198	0,035	0,198	0,026	0,731	0,050
Pushover Y	99,520	1279,610	0,042	0,198	0,030	0,782	0,050

Pada studi kasus ini, struktur gedung memiliki nilai redaman efektif (*β eff*) sebesar 5%, sehingga telah sesuai dengan batasan redaman efektif maksimum yang diizinkan sesuai ATC-40 yaitu sebesar 40%.

5.6.3 Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat kinerja struktur bangunan dapat ditentukan berdasarkan kriteria *drift* yang diperoleh ketika titik kinerja tercapai. Menurut ATC-40, untuk bangunan hunian langsung seperti gedung perkantoran dalam hasil uji kerusakan di laboratorium pada struktur rangka dengan detail yang baik diperoleh batas simpangan total maksimum yaitu 0,01, untuk batas simpangan inelastis maksimum didasarkan pada tujuan untuk menghindari deformasi sisa yang signifikan setelah gempa. Jika didasarkan pada keselamatan jiwa, maka batas simpangan total maksimum 0,02 disarankan, karena pengalaman yang signifikan dengan respons terhadap tingkat deformasi yang lebih besar masih kurang. Berdasarkan Tabel 5.13 tentang titik performa dan Tabel 3.15 tentang batasan *drift* pada atap dapat diketahui tingkat kinerja struktur dengan parameter *maximum total drift ratio* dan *maximum inelastic drift ratio*. Perhitungan tersebut dilihat sebagai berikut.

1. *Pushover* Arah X
   a. *Maximum Total Drift Ratio*

      $$\frac{\delta_t}{H} = \frac{0{,}035}{16} = 0{,}00219 < 0{,}01$$

      Berdasarkan *ATC-40 Table 11.2 (Deformation Limits)* nilai *Maximum Total Drift Ratio < 0,01* termasuk dalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* merupakan keadaan bangunan yang aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

   b. *Maximum Inelastic Ratio*

      $$\frac{\delta_t - \delta_{l1}}{H} = \frac{0{,}035 - 0{,}03178}{16} = 0{,}00020 < 0{,}005$$

      Berdasarkan *ATC-40 Table 11.2 (Deformation Limits)* nilai *Maximum Total Drift Ratio < 0,005* termasuk dalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* merupakan keadaan bangunan yang aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan

struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

2. *Pushover* Arah Y
   a. *Maximum Total Drift Ratio*

   $$\frac{\delta_t}{H} = \frac{0{,}042}{16} = 0{,}00263 < 0{,}01$$

   Berdasarkan *ATC-40 Table 11.2 (Deformation Limits)* nilai *Maximum Total Drift Ratio < 0,01* termasuk dalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* merupakan keadaan bangunan yang aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

   b. *Maximum Inelastic Ratio*

   $$\frac{\delta_t - \delta_{l1}}{H} = \frac{0{,}042 - 0{,}03201}{16} = 0{,}00062 < 0{,}005$$

   Berdasarkan *ATC-40 Table 11.2 (Deformation Limits)* nilai *Maximum Total Drift Ratio < 0,005* termasuk dalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* merupakan keadaan bangunan yang aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

Tingkat kinerja struktur gedung perkantoran berada pada tingkat *Immediate Occupancy* (*IO*) yang berarti telah memenuhi persyaratan ASCE-41 yang telah disesuaikan dengan SNI 1726-2019 bahwa gedung dengan kategori risiko II apabila diberikan beban gempa rencana, maka tingkat kinerja gedung yang diharapkan adalah *Immediate Occupancy* (*IO*) yang merupakan tingkat kinerja terendah pada ATC-40 dan memiliki arti bahwa bangunan tetap aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak begitu berarti, dan bangunan dapat difungsikan kembali dengan segera.

5.6.4 Skema Sendi Plastis

Struktur mulai mengalami sendi plastis yang diakibatkan oleh momen yang terjadi lebih besar dari momen kapasitas elemen setelah dilakukan analisis *pushover*. Ketika beban yang bekerja relatif kecil pada struktur, maka momen yang bekerja pada penampang masih dalam keadaan elastis. Namun ketika beban yang bekerja ditingkatkan secara bertahap, maka akan mengakibatkan besar momen pada salah satu penampang mencapai keadaan plastis.

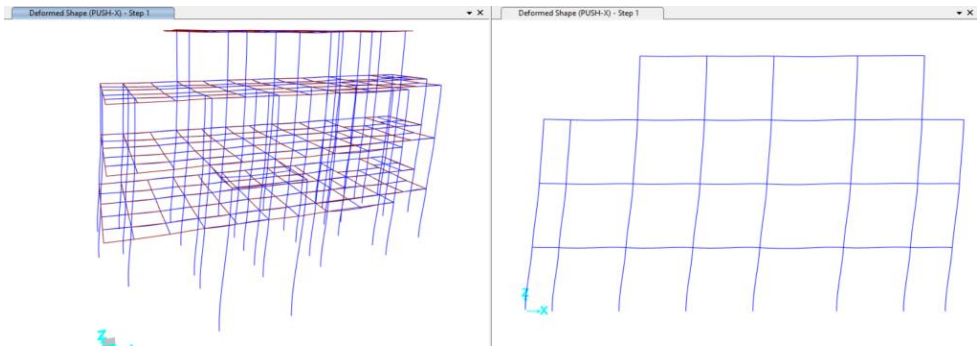
Pada *software* SAP2000, keadaan sendi plastis pada elemen ditunjukkan dalam bentuk warna yang memiliki simbol dari kondisi sendi plastis yang berbeda-beda. Keterangan terkait kondisi sendi plastis berdasarkan warna pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Keterangan Simbol Warna Titik Sendi Plastis

Simbol	Keterangan	Deskripsi
	B	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur
	IO	Terjadinya kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa (*Immediately Ocupancy*)
	LS	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan (*Live Safety*)
	CP	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak atau kondisi hampir runtuh (*Collapse Prevention*)
	C	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
	D	Terjadi degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir *collapse*
	E	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

1. Sendi Plastis *Pushover* Arah X
   a. Step-1 terjadi sendi plastis

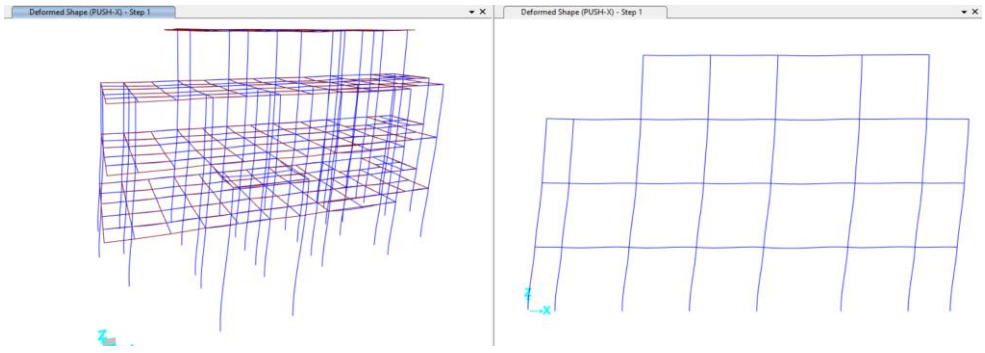
      Sendi plastis belum terjadi pada balok dan kolom ketika step-1. Tidak ada simbol yang menunjukkan terjadinya sendi plastis pada balok dan kolom pada *software* SAP2000. Step awal pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.62 berikut.



Gambar 5.62 Step-1 Terjadi Sendi Plastis Arah X

   b. Step-2 terjadi sendi plastis

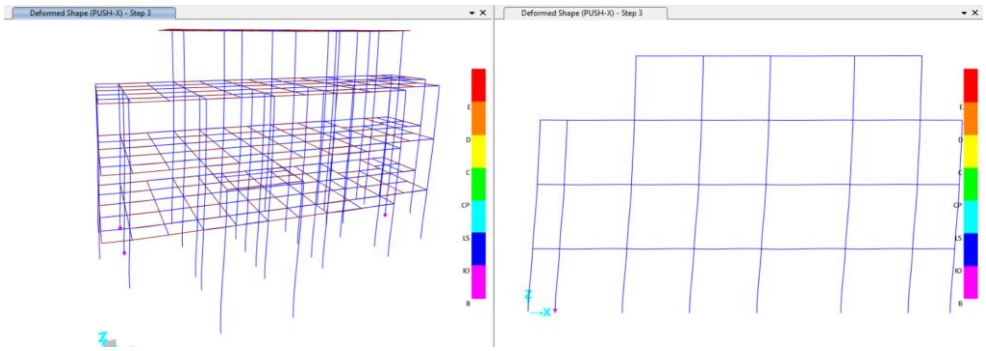
      Sendi plastis belum terjadi pada balok dan kolom ketika step-2. Tidak ada simbol yang menunjukkan terjadinya sendi plastis pada balok dan kolom pada *software* SAP2000. Step-2 pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.63 berikut.



Gambar 5.63 Step-2 Terjadi Sendi Plastis Arah X

c. Step-3 terjadi sendi plastis

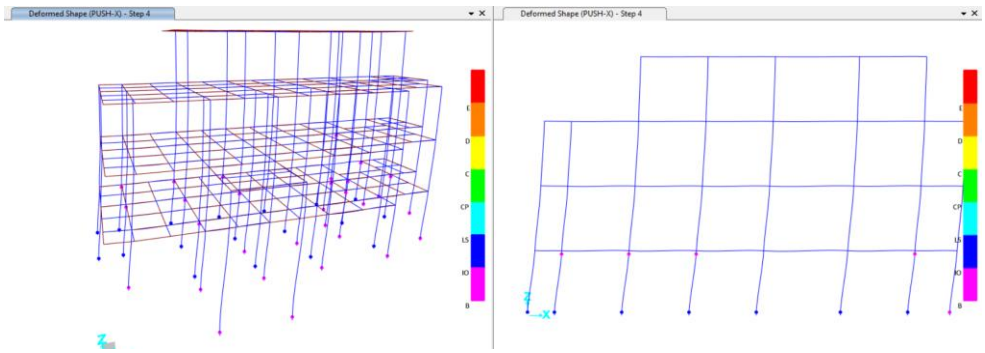
Pada step-3 terdapat 3 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung kolom, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Step-3 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.64 berikut.



Gambar 5.64 Step-3 Terjadi Sendi Plastis Arah X

d. Step-4 terjadi sendi plastis

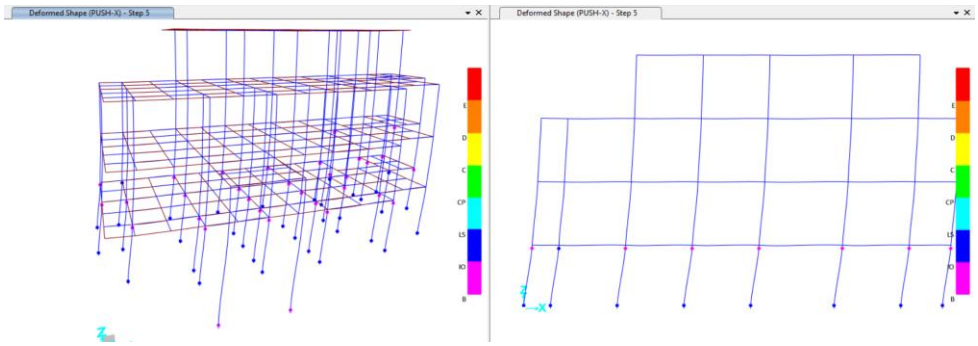
Pada step-4 terdapat 30 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung kolom, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Terdapat juga 18 titik plastis berwarna biru yang muncul pada ujung kolom, simbol titik warna biru tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja IO-LS. Step-4 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.65 berikut.



Gambar 5.65 Step-4 Terjadi Sendi Plastis Arah X

e. Step-5 terjadi sendi plastis

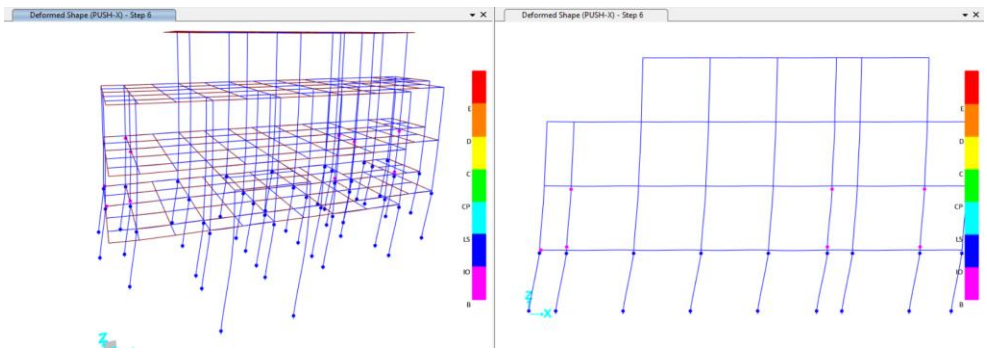
Pada step-5 terdapat 32 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung kolom, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Terdapat juga 35 titik plastis berwarna biru yang muncul pada ujung kolom, simbol titik warna biru tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja IO-LS. Step-5 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.66 berikut.



Gambar 5.66 Step-5 Terjadi Sendi Plastis Arah X

f. Step-6 terjadi sendi plastis

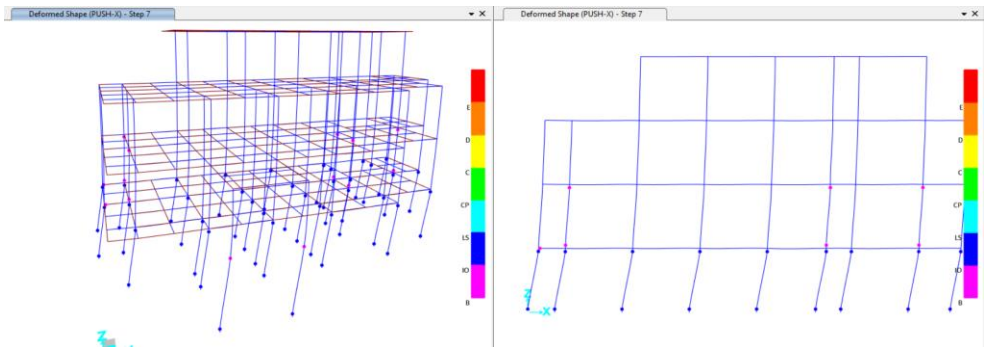
Pada step-6 terdapat 10 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung balok dan kolom, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Terdapat juga 66 titik plastis berwarna biru yang muncul pada ujung kolom, simbol titik warna biru tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja IO-LS. Step-6 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.67 berikut.



Gambar 5.67 Step-6 Terjadi Sendi Plastis Arah X

g. Step-7 terjadi sendi plastis

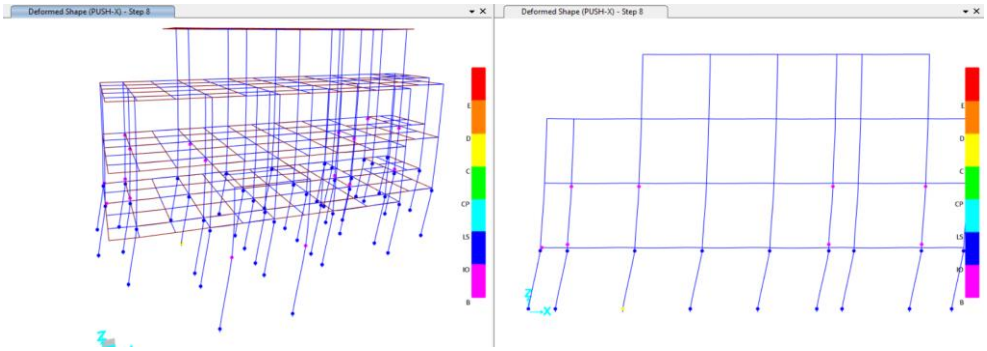
Pada step-7 terdapat 14 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung balok dan kolom, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Terdapat juga 66 titik plastis berwarna biru yang muncul pada ujung balok dan kolom, simbol titik warna biru tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja IO-LS. Step-7 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.68 berikut.



Gambar 5.68 Step-7 Terjadi Sendi Plastis Arah X

h. Step-8 terjadi sendi plastis

Pada step-8, program SAP2000 berhenti melakukan iterasi. Diperoleh sendi plastis yang muncul hampir di beberapa elemen balok dan kolom struktur dengan sifat *in-elastic*. Terdapat 17 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung balok dan kolom, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Terdapat juga 65 titik plastis berwarna biru yang muncul pada ujung balok dan kolom, simbol titik warna biru tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja IO-LS. Pada step akhir ini muncul 1 titik plastis berwarna kuning yang muncul pada ujung kolom, simbol titik warna kuning tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja C-D. Step-8 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.69 berikut.

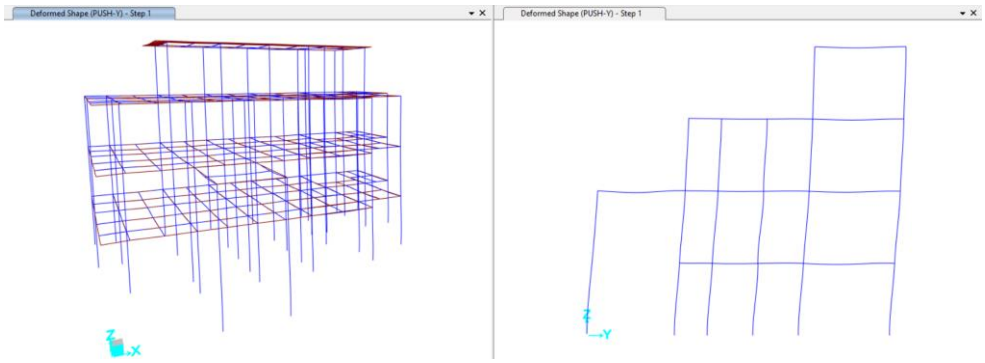


Gambar 5.69 Step-8 Terjadi Sendi Plastis Arah X

2. Sendi Plastis *Pushover* Arah Y

   a. Step-1 terjadi sendi plastis

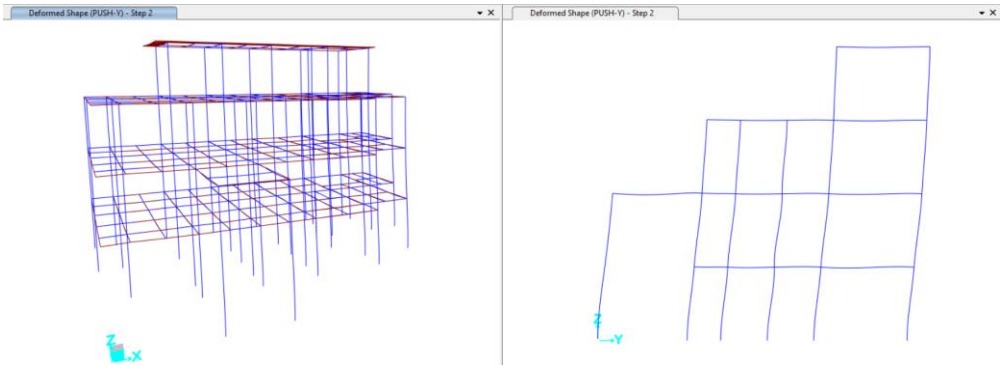
      Sendi plastis belum terjadi pada balok dan kolom ketika step-1. Tidak ada simbol yang menunjukkan terjadinya sendi plastis pada balok dan kolom pada *software* SAP2000. Step awal pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.70 berikut.



Gambar 5.70 Step-1 Terjadi Sendi Plastis Arah Y

   b. Step-2 terjadi sendi plastis

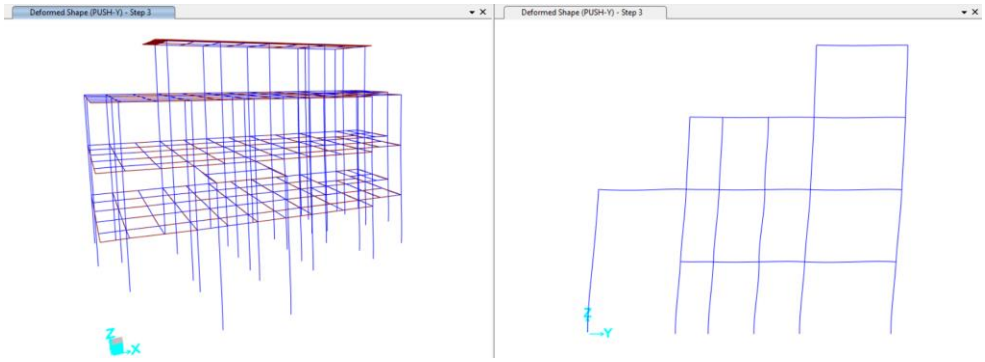
      Sendi plastis belum terjadi pada balok dan kolom ketika step-2. Tidak ada simbol yang menunjukkan terjadinya sendi plastis pada balok dan kolom pada *software* SAP2000. Step-2 pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.71 berikut.



Gambar 5.71 Step-2 Terjadi Sendi Plastis Arah Y

c. Step-3 terjadi sendi plastis

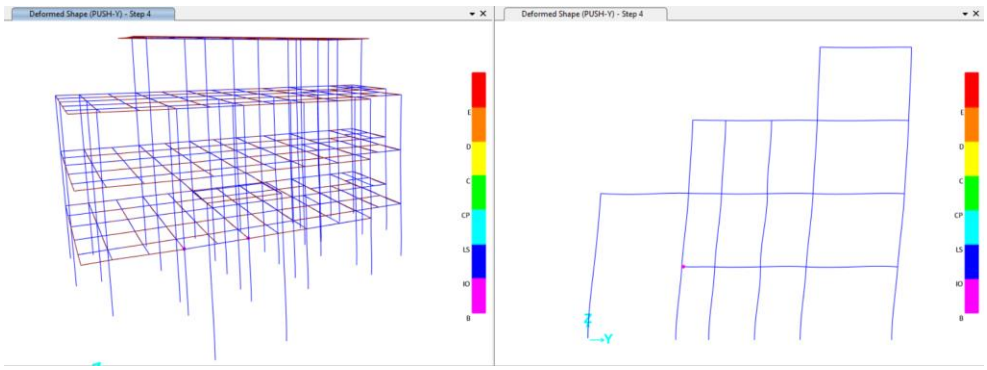
Sendi plastis belum terjadi pada balok dan kolom ketika step-3. Tidak ada simbol yang menunjukkan terjadinya sendi plastis pada balok dan kolom pada *software* SAP2000. Step-3 pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.72 berikut.



Gambar 5.72 Step-3 Terjadi Sendi Plastis Arah Y

d. Step-4 terjadi sendi plastis

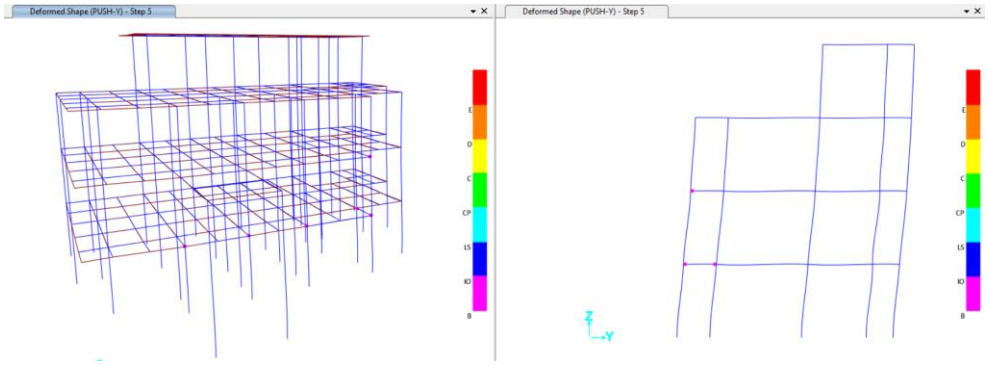
Pada step-4 terdapat 2 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Step-4 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.73 berikut.



Gambar 5.73 Step-4 Terjadi Sendi Plastis Arah Y

e. Step-5 terjadi sendi plastis

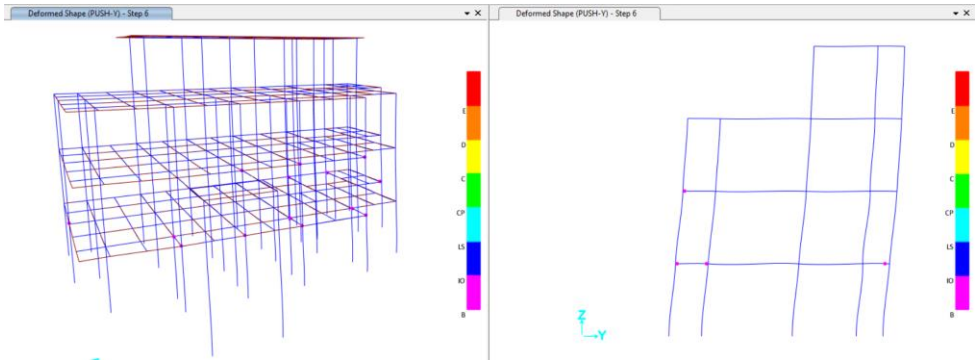
Pada step-5 terdapat 6 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Step-5 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.74 berikut.



Gambar 5.74 Step-5 Terjadi Sendi Plastis Arah Y

f. Step-6 terjadi sendi plastis

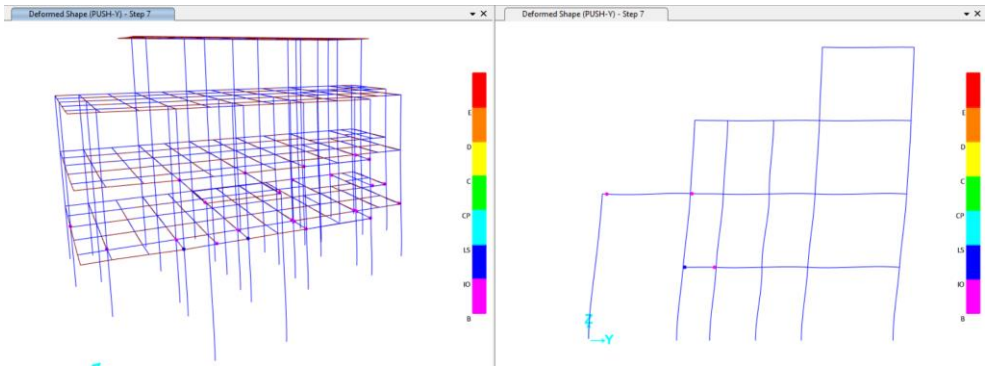
Pada step-6 terdapat 14 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Step-6 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.75 berikut.



Gambar 5.75 Step-6 Terjadi Sendi Plastis Arah Y

g. Step-7 terjadi sendi plastis

Pada step-7 terdapat 23 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Terdapat juga 2 titik plastis berwarna biru yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna biru tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja IO-LS. Step-7 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.76 berikut.

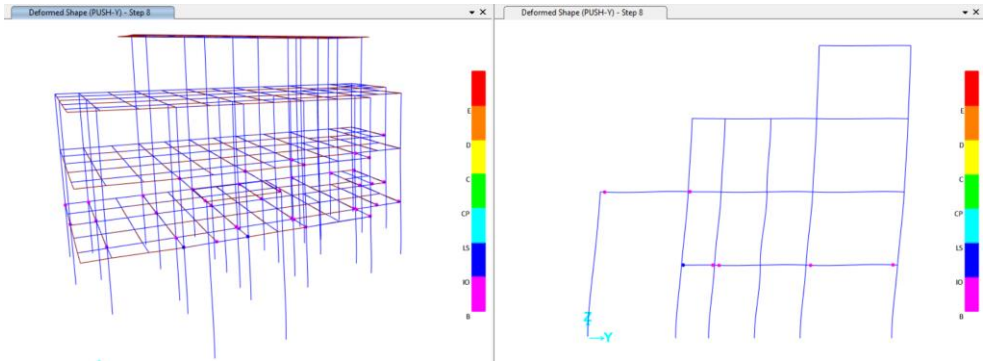


Gambar 5.76 Step-7 Terjadi Sendi Plastis Arah Y

h. Step-8 terjadi sendi plastis

Pada step-8 terdapat 38 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Terdapat juga 2 titik plastis berwarna biru yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna biru tersebut memberi arti

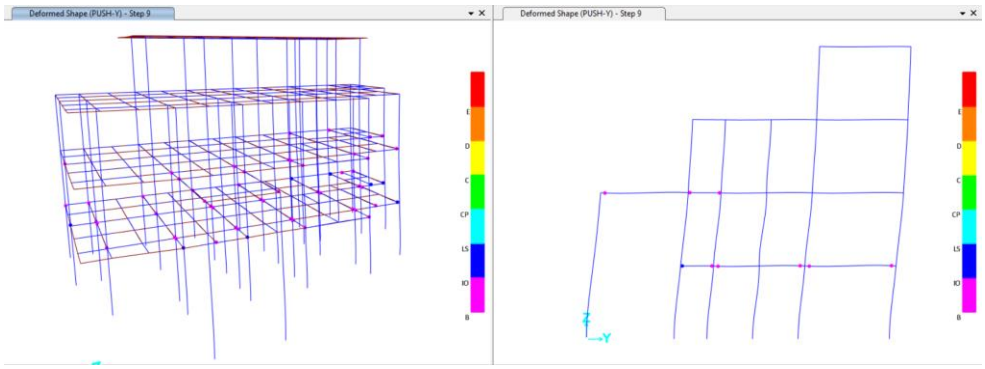
bahwa sendi plastis berada pada level kinerja IO-LS. Step-8 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.77 berikut.



Gambar 5.77 Step-8 Terjadi Sendi Plastis Arah Y

i. Step-9 terjadi sendi plastis

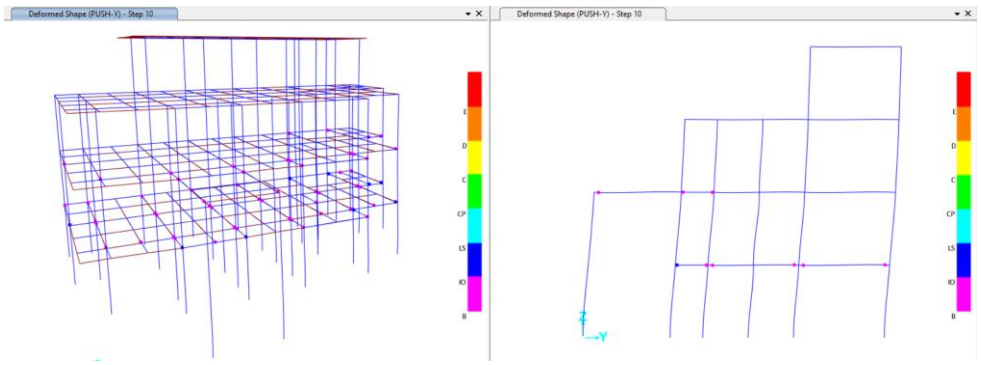
Pada step-9 terdapat 48 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Terdapat juga 8 titik plastis berwarna biru yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna biru tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja IO-LS. Step-9 terjadi sendi plastis pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5.78 berikut.



Gambar 5.78 Step-9 Terjadi Sendi Plastis Arah Y

j. Step-10 terjadi sendi plastis

Pada step-10, program SAP2000 berhenti melakukan iterasi. Diperoleh sendi plastis yang muncul hampir di beberapa elemen balok struktur dengan sifat *in-elastic*. Terdapat 53 titik plastis berwarna ungu yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna ungu tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Terdapat juga 9 titik plastis berwarna biru yang muncul pada ujung balok, simbol titik warna biru tersebut memberi arti bahwa sendi plastis berada pada level kinerja IO-LS. Step akhir terjadinya sendi plastis arah Y dapat dilihat pada Gambar 5.79 berikut.



Gambar 5.79 Step-10 Terjadi Sendi Plastis Arah Y

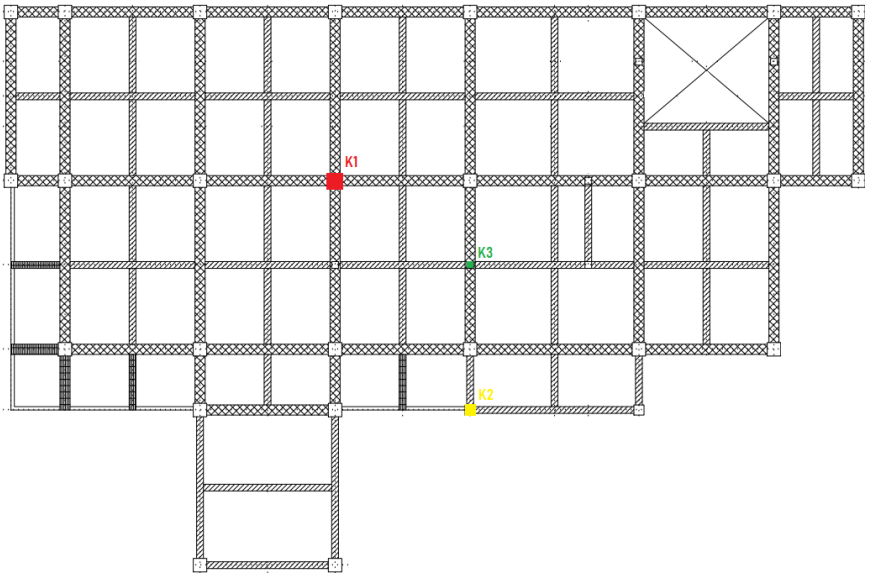
Sendi plastis yang terjadi pada gedung perkantoran diperoleh hasil untuk arah X terjadi keruntuhan pada step-8 dimana beberapa balok dan kolom telah masuk dalam kategori B-IO, IO-LS, dan 1 titik masuk dalam kategori C-D. Pada arah Y terjadi keruntuhan ketika step-10 dimana beberapa balok telah masuk dalam kategori IO-LS. Keruntuhan terjadi akibat beban yang bekerja secara bertahap tidak mampu lagi ditahan oleh kapasitas momen lentur yang bekerja pada struktur.

Distribusi sendi plastis arah X diawali pada step-3 yang terjadi pada tiga titik di kolom bawah dan pada step selanjutnya menyebar ke atas hingga elemen kolom dan balok lainnya, hal ini terjadi juga pada analisis perilaku struktur perkantoran dengan metode analisis pushover yang dilakukan oleh Nabhilla & Hayu, 2020 yang pada analisisnya muncul sendi plastis awal pada bagian kolom bawah yang selanjutnya menyebar ke atas dan ke beberapa elemen struktur bangunan

perkantoran. Distribusi sendi plastis arah Y diawali pada step-4 yang terjadi pada 2 titik di balok lantai dasar. Pada penelitian yang dilakukan oleh Muntafi, 2012 skema sendi pada model gedung yang ditinjau hanya terjadi pada elemen balok dan kolom lantai dasar saja, dan sesuai dengan metode perencanaan kolom kuat-balok lemah (*strong column weak beam*) serta sesuai dengan kriteria gedung berdaktilitas.

Pada penelitian ini untuk arah Y metode sesuai dengan metode perencanaan kolom kuat-balok lemah (*strong colum weak beam*) yang mana sendi plastis muncul pertama pada elemen balok lantai dasar saja, dan struktur memenuhi sifat daktilitas sehingga struktur mampu berdeformasi berulang-ulang serta bolak-balik akibat dari beban gempa hingga terjadi pelelehan pertama dan mempertahankan kekuatan kekakuan sehingga gedung tetap berdiri.

Pada arah X skema sendi plastis yang terbentuk memiliki pola yang serupa seperti pada penelitian oleh Nabhilla & Hayu, 2020 yang mana banyak terjadi sendi plastis pada elemen kolom, tetapi sendi plastis pada elemen balok hanya sedikit. Indikasi terjadinya sendi plastis pada elemen kolom lebih banyak dibandingkan pada elemen balok dapat dikategorikan bahwa struktur tidak memenuhi kriteria kolom kuat-balok lemah (*strong column weak beam*). Agar dapat mengetahui kriteria di atas maka perlu dilakukan peninjauan lebih lanjut terkait metode analisis *pushover* terutama sendi plastis dapatkan mempengaruhi hasil *strong column weak beam* (SCWB). Berikut merupakan hasil perhitungan SCWB dengan hasil sendi plastis yang menggunakan 3 sampel kolom untuk K1, K2, dan K3 seperti ditujukan pada Gambar 5.80 berikut.



Gambar 5.80 Letak Titik Kolom yang Akan Dianalisis SCWB

Berdasarkan titik kolom di atas, maka dapat diperoleh tipe-tipe kolom dan tipe-tipe balok yang akan digunakan dalam analisis perhitungan SCWB. Menurut SNI 2847-2019, momen nominal adalah momen yang diberikan pada tipe kolom dan balok. Menurut Pasal 18.7.3 SNI 2847-2019, perhitungan SCWB dapat diterima jika perbandingan antara kuat lentur nominal total kolom dan kuat lentur nominal total balok pada sambungan menghasilkan hasil lebih besar dari 1,2. Ini adalah kekuatan lentur minimum kolom. Hasil perhitungan SCWB dapat dilihat pada Tabel 5.15 sampai Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.15 Perhitungan SCWB Kolom K1

Lantai	Tipe Kolom	Balok kiri		Mn Kolom	Balok kanan		$\frac{\Sigma Mn_K}{\Sigma Mn_B}$
		Tipe	Mn-		Mn+	Tipe	
4	K.293	B.216	376.178	371.431	308.014	B.217	0.5429
3	K.294	B.151	376.178	681.785	308.014	B.152	0.9965
2	K.295	B.81	376.178	733.077	308.014	B.82	1.0715
1	K.296	B.16	376.178	857.246	308.014	B.17	1.2529

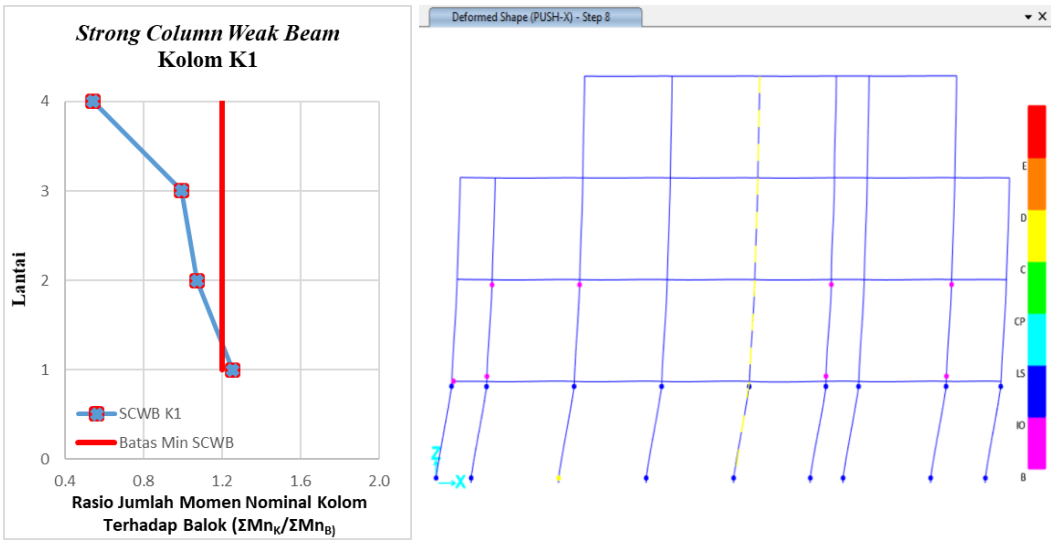
Tabel 5.16 Perhitungan SCWB Kolom K2

Lantai	Tipe Kolom	Mn Kolom	Balok kanan		$\frac{\Sigma Mn_K}{\Sigma Mn_B}$
			Mn+	Tipe	
3	K.246	8.877	37.478	B.205	0.2369
2	K.247	28.292	37.478	B.135	0.7549
1	K.248	72.215	37.478	B.70	1.9269

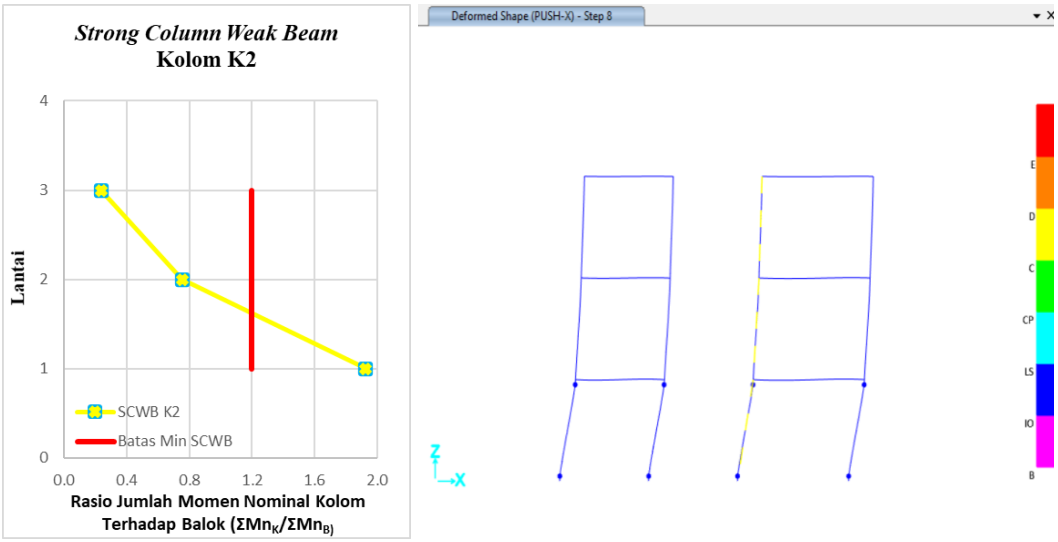
Tabel 5.17 Perhitungan SCWB Kolom K3

Lantai	Tipe Kolom	Balok kiri		Mn Kolom	Balok kanan		$\frac{\Sigma Mn_K}{\Sigma Mn_B}$
		Tipe	Mn-		Mn+	Tipe	
3	K.273	B.200	68.844	33.354	37.478	B.201	0.3137
2	K.274	B.130	68.844	54.785	37.478	B.131	0.5153
1	K.275	B.65	68.844	57.431	37.478	B.66	0.5402

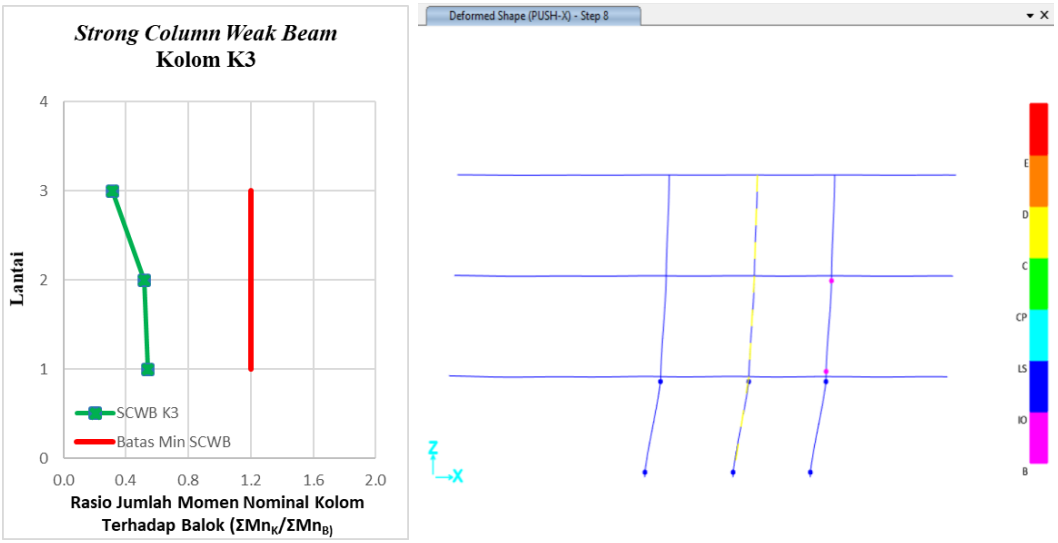
Sehingga dapat digambarkan grafik persebaran untuk mempermudah dalam menentukan SCWB. Hasil perhitungan SCWB dari ketiga fokus di atas dapat ditunjukkan dengan grafik sirkulasi untuk memudahkan penentuan SCWB. Grafik persebaran SCWB dari tiga titik dapat dilihat pada Gambar 5.81 sampai Gambar 5.83 berikut.



Gambar 5.81 Persebaran SCWB Pada Kolom K1 dengan Sendi Plastis



Gambar 5.82 Persebaran SCWB Pada Kolom K2 dengan Sendi Plastis



Gambar 5.83 Persebaran SCWB Pada Kolom K3 dengan Sendi Plastis

Gambar 5.81 sampai dengan Gambar 5.83 merupakan gambar hasil perbandingan antara hasil perhitungan *strong column weak beam* dengan analisa sendi plastis arah X yang memiliki hasil persebaran SCWB yang bervariasi. Pada Gambar 5.81 diperoleh hasil SCWB pada lantai dasar masih memenuhi standar dari SNI 2847-2019, namun pada kolom lantai berikutnya sudah tidak memenuhi standar tersebut. Hasil analisis *pushover* sendi plastis pada level lantai dasar sudah

masuk sendi plastis pada level IO-LS, namun hasil sendi plastis beberapa level lebih tinggi belum masuk sendi plastis. Pada Gambar 5.82 hasil SCWB lantai dasar masih memenuhi persyaratan SNI 2847-2019, namun kolom di lantai berikutnya tidak. Hasil analisis *pushover* sendi plastis pada level lantai dasar sudah masuk sendi plastis pada level IO-LS, namun hasil sendi plastis beberapa level lebih tinggi belum masuk sendi plastis. Pada Gambar 5.83 hasil SCWB secara keseluruhan belum memenuhi persyaratan SNI 2847-2019. Namun, analisis pushover hanya menemukan sendi plastis pada level lantai dasar, dimana telah memasuki level IO-LS.

Berdasarkan uraian di atas terkait dengan *strong column weak beam* dan sendi plastis, maka dapat disimpulkan bahwa analisis *pushover* sendi plastis tidak berhubungan kuat dengan analisis *strong column weak beam* khususnya pada studi kasus Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Patria, 2017 juga menyimpulkan hal yang sama terkait hasil perhitungan SCWB pada kolom-kolom berbeda dengan hasil analisis *pushover* sendi plastis. Sehingga secara garis besar bangunan ini tidak memenuhi kriteria SCWB, namun untuk mengetahui lebih dalam maka nantinya perlu dilakukan analisis penelitian dan penyelidikan yang lebih mendetail.

.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis terhadap kinerja bangunan Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan kurva kapasitas yang telah diperoleh dapat dilihat bahwa kurva kapasitas arah Y memiliki bentuk yang lebih tegak daripada kurva kapasitas arah X, hal ini menunjukkan bahwa struktur arah Y lebih kaku daripada arah X. Diperoleh nilai gaya lateral arah X sebesar 4080,403 kN dan *displacement* sebesar 0.19861 m, sedangkan untuk arah Y memiliki nilai gaya lateral sebesar 9030,155 kN dan *displacement* sebesar 0.32000 m.
2. Nilai *performance point* yang diperoleh untuk arah X yaitu *Vt* = 1296,198 kN, δ_t = 0,035 m, S_a = 0,198, S_d = 0,026, *T eff* = 0,731, dan β *eff* = 0,05 dan untuk arah Y yaitu *Vt* = 1279,61 kN, δ_t = 0,042 m, S_a = 0,198, S_d = 0,030, *T eff* = 0,782, dan β *eff* = 0,05. Dari nilai *performance point* tersebut lalu dihitung nilai *drift* menggunakan metode *ATC-40*, sehingga diperoleh tingkat kinerja struktur dari bangunan bangunan Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* adalah *Immediate Occupancy* (IO).
3. Skema sendi plastis terjadi untuk arah X dan arah Y berturut-turut pada step ke-3 dan step ke-4 yang ditandai dengan munculnya titik sendi plastis berwarna ungu pada balok dan kolom. Sendi plastis yang terjadi pada gedung perkantoran diperoleh hasil untuk arah X terjadi keruntuhan pada step-8 dimana beberapa balok dan kolom telah masuk dalam kategori IO-LS dan satu titik pada kategori C-D, sedangkan untuk arah Y terjadi keruntuhan pada step-10 dimana beberapa balok telah masuk dalam kategori IO-LS. Pemeriksaan sendi plastis saat melakukan analisis SCWB dapat dikatakan tidak berhubungan kuat, karena hasil

dari analisis SCWB pada beberapa bagian kolom tidak sama dengan akibat pemeriksaan sendi plastis analisis *pushover*. Secara umum, analisis SCWB pada ketiga titik di gedung ini tidak memenuhi kriteria SCWB. Namun, analisis penelitian yang lebih mendalam diperlukan untuk mengetahui lebih lanjut.

6.2 Saran

Dari hasil penelitian pada Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm* dihasilkan saran untuk pengembangan lebih lanjut terkait penelitian tentang analisis *pushover* selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan penelitian dengan melakukan perkuatan pada struktur bangunan Gedung *Joint Office* Tegar Utama Group & RBI *Law Firm*.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perbandingan titik acuan massa yang berlokasi dibeberapa titik untuk memperoleh hasil yang lebih kompleks terkait level kerusakan pada kurva kapasitas sebagai pembanding.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan penambahan metode *performance point* seperti menggunakan *FEMA 356* dan *FEMA 440* dalam analisis *pushover* sebagai perbandingan dengan hasil dari metode *ATC-40*.

DAFTAR PUSTAKA

ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I. California. Seismic Safety Commission State of California*

Bryant, C., & White, L. (1989). *Manajemen Pembangunan untuk Negara Berkembang*. LP3ES

Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa *Pushover*. *Seminar Bidang Kajian*, 28

Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Analisis *Pushover* pada Bangunan dengan Soft First Story. *Jurnal Sipil Statik*, *2*(4), 214–224

Masril. (2019). Analisis Struktur Atas Empat Lantai dengan Analisis *Pushover* menggunakan Program SAP 2000 Studi Kasus: Gedung Kantor Bersama Kabupaten Sijunjung. *Ensiklopedia of Journal*, *2*(1)

Muntafi, Y. (2012). Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri dengan Analisis *Pushover*. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS 2012*, 68–75

Nabhilla, R., & Hayu, G. A. (2020). Analisis Perilaku Struktur Perkantoran Tahan Gempa menggunakan Metode *Pushover* Analisis. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, *6*(2), 141–154

Nur Mustofa, A. (2010). Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya. *Journal Unnes*, *7*(1)

Patria, R. (2017). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung Studi Kasus pada Hotel Inna Garuda Extention Yogyakarta. In *Magister Teknik Sipil*. Universitas Islam Indonesia

Pawirodikromo, W. (2000). *Analisis Dinamik Struktur*. Pustaka Pelajar

Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar

Powell, G. (2007). *Performance Based Design Using Nonlinear Analysis A Presentation of Computers and Structures.pdf* (p. 178). Computers & Structures, Inc. Educational Services

Sastra Wibawa, I. M., Kubon Tubuh, I. K. D., & Aditya Prawira, P. P. L. (2021). Analisis Kinerja Struktur Gedung Dengan Analisis *Pushover* Pada Proyek Gedung Rektorat Universitas Mahasaraswati Denpasar. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, *10*(2), 53–61

Shulhan, M. A., Julianto, E., & Galuh, D. L. (2021). Analisis Kinerja Struktur Gedung Sekolah 4 Lantai Dengan Metode *Push Over*. *Jurnal UST Jogja*, 19–24

SNI 03-1726-2002. (2002). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional

SNI 03-1726-2012. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standarisasi Nasional

SNI 03-1726-2019. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standarisasi Nasional

SNI 03-1727-2020. (2020). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Badan Standarisasi Nasional

SNI 03-2847-2019. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional

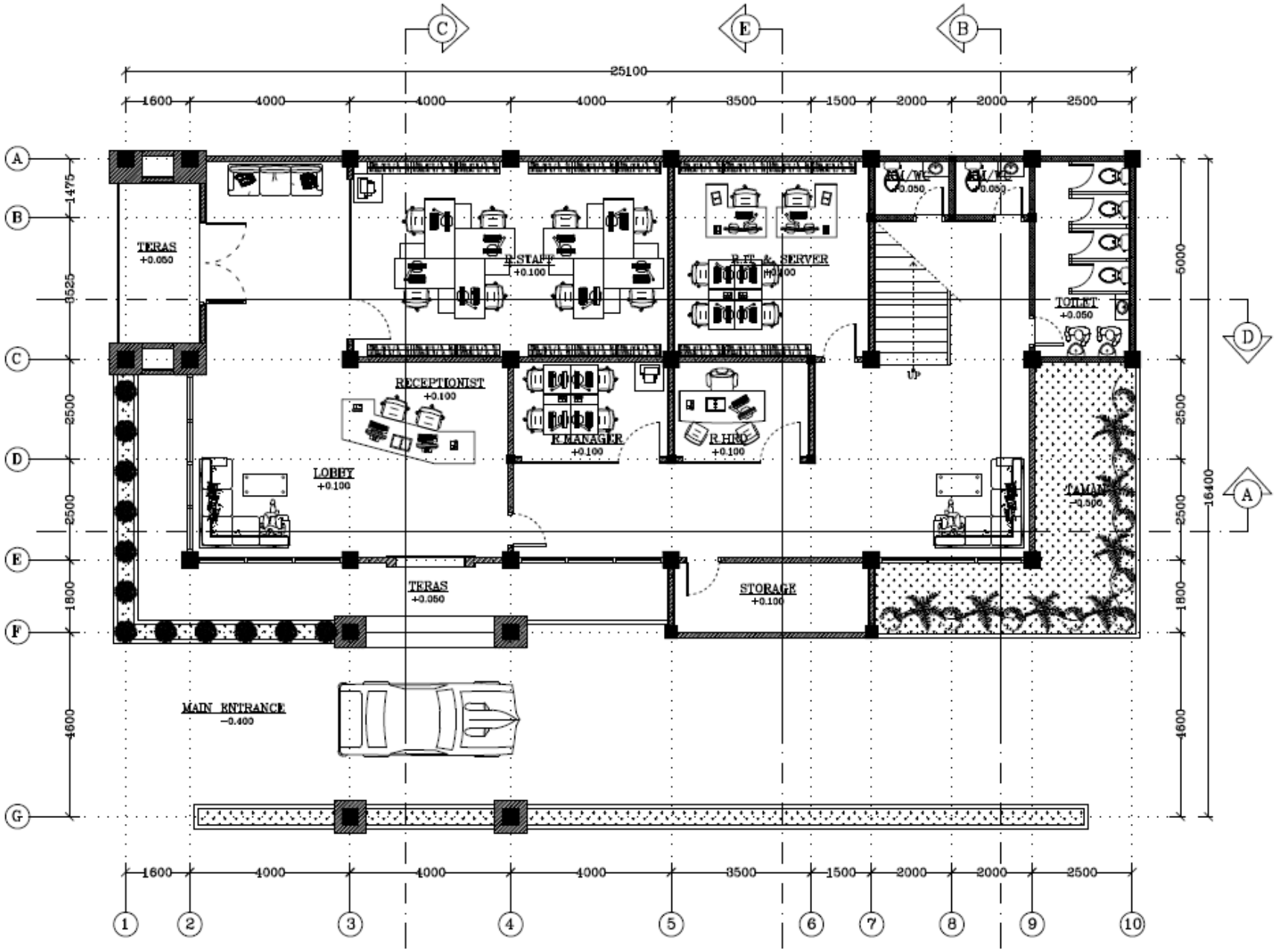
Tavio, & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Andi Offset

Usman, A. P., Rosidawani, & Sri Palta Mutmainna. (2021). Analisis Respons dan Kinerja Struktur Bangunan Gedung Menggunakan *Pushover Analysis*. *Jurnal Saintis*, *21*(02), 87–96

Widyaningrum, A., & Haryanto, Y. (2019). Laporan Kinerja Dinas Kominfo. *Engineering Departement Jenderal Soedirman University*, *15*(2), 87–94

LAMPIRAN

SHOP DRAWING GEDUNG *JOINT OFFICE* TEGAR UTAMA *GROUP* & RBI *LAW FIRM*



DENAH LANTAI 1

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP

RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH LANTAI 1	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

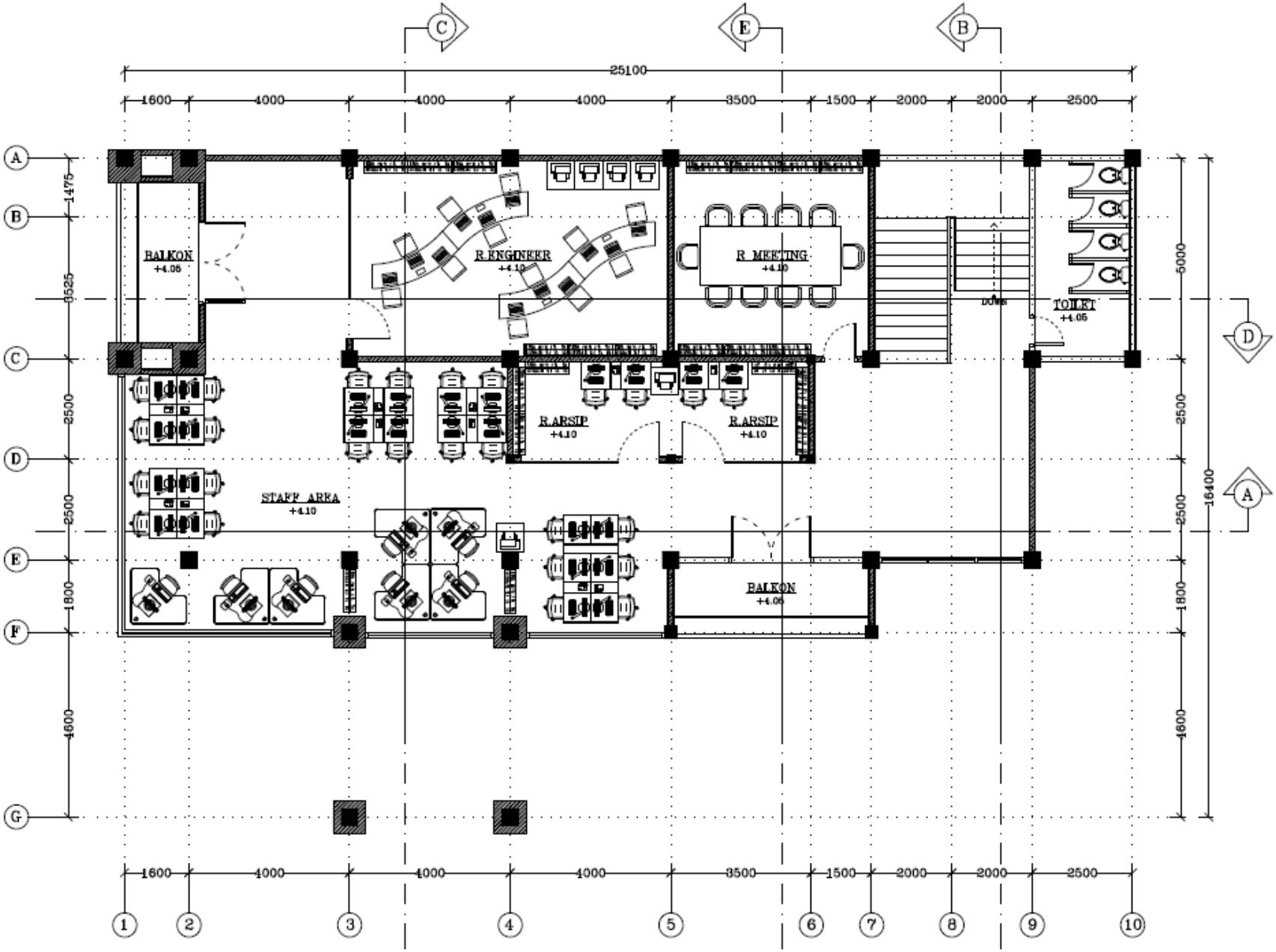
ARCHITECT & PLANNER

LISA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	AR-DN-02
SHEET NUMBER	01
SHEET TOTAL	AR-DN-01
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



DENAH LANTAI 2

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH LANTAI 2	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

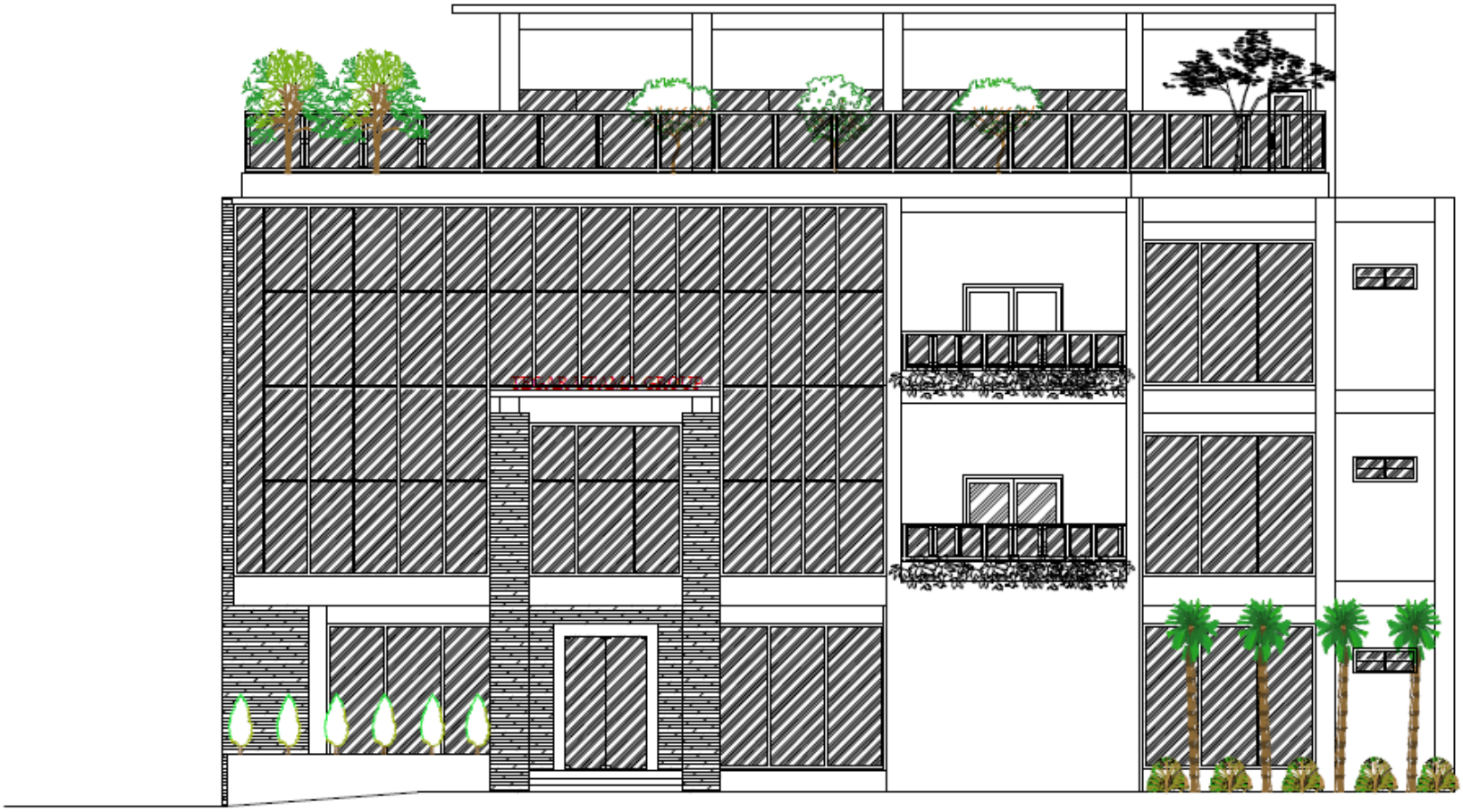
ARCHITECT & PLANNER

USA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	AR-DN-03
SHEET NUMBER	02
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



TAMPAK DEPAN
SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
TAMPAK DEPAN	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT. TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

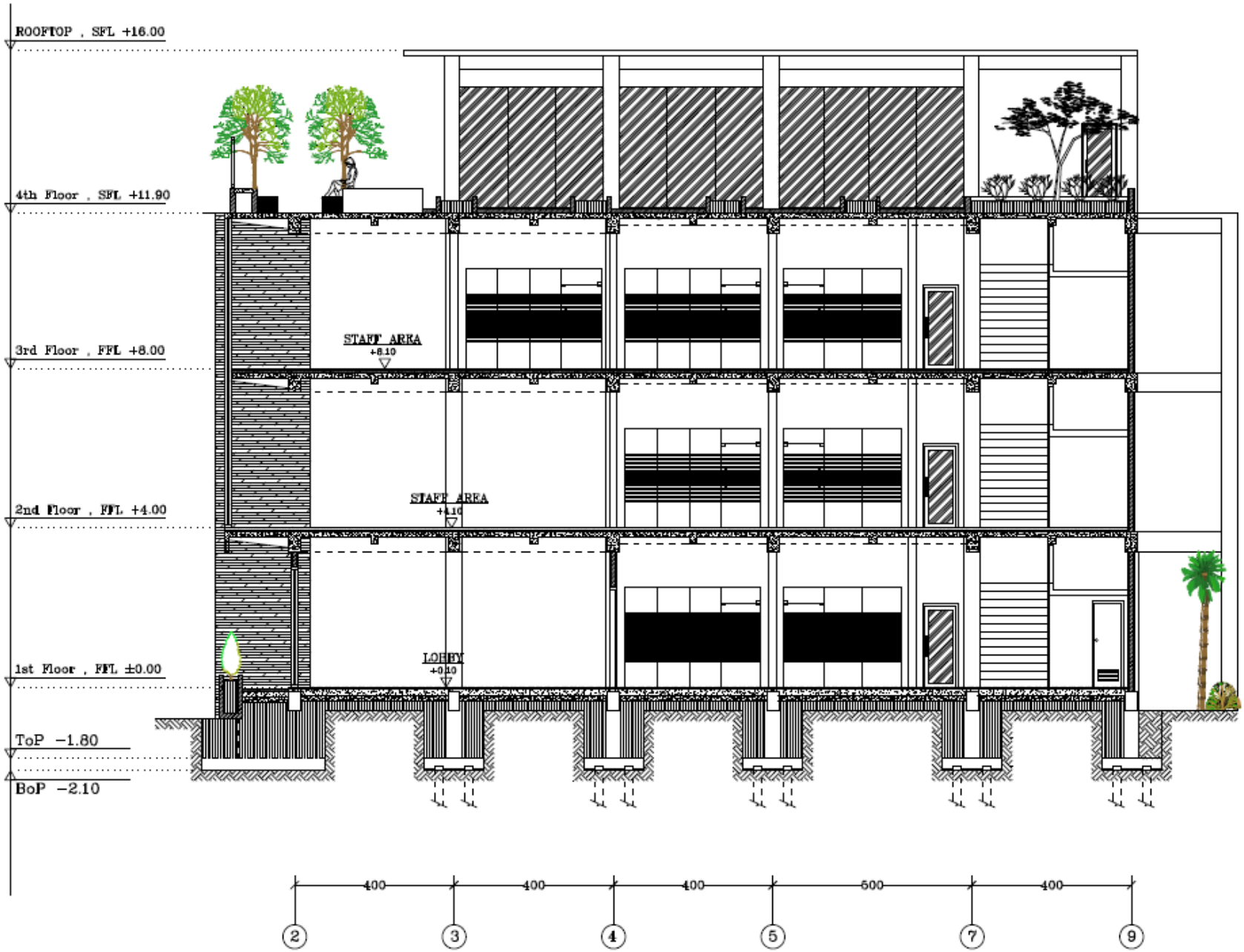
ARCHITECT & PLANNER

USA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT. BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	AR-TP-01
SHEET NUMBER	12
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



POTONGAN A–A MENYELURUH

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP

RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
POT A-A MENYELURUH	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

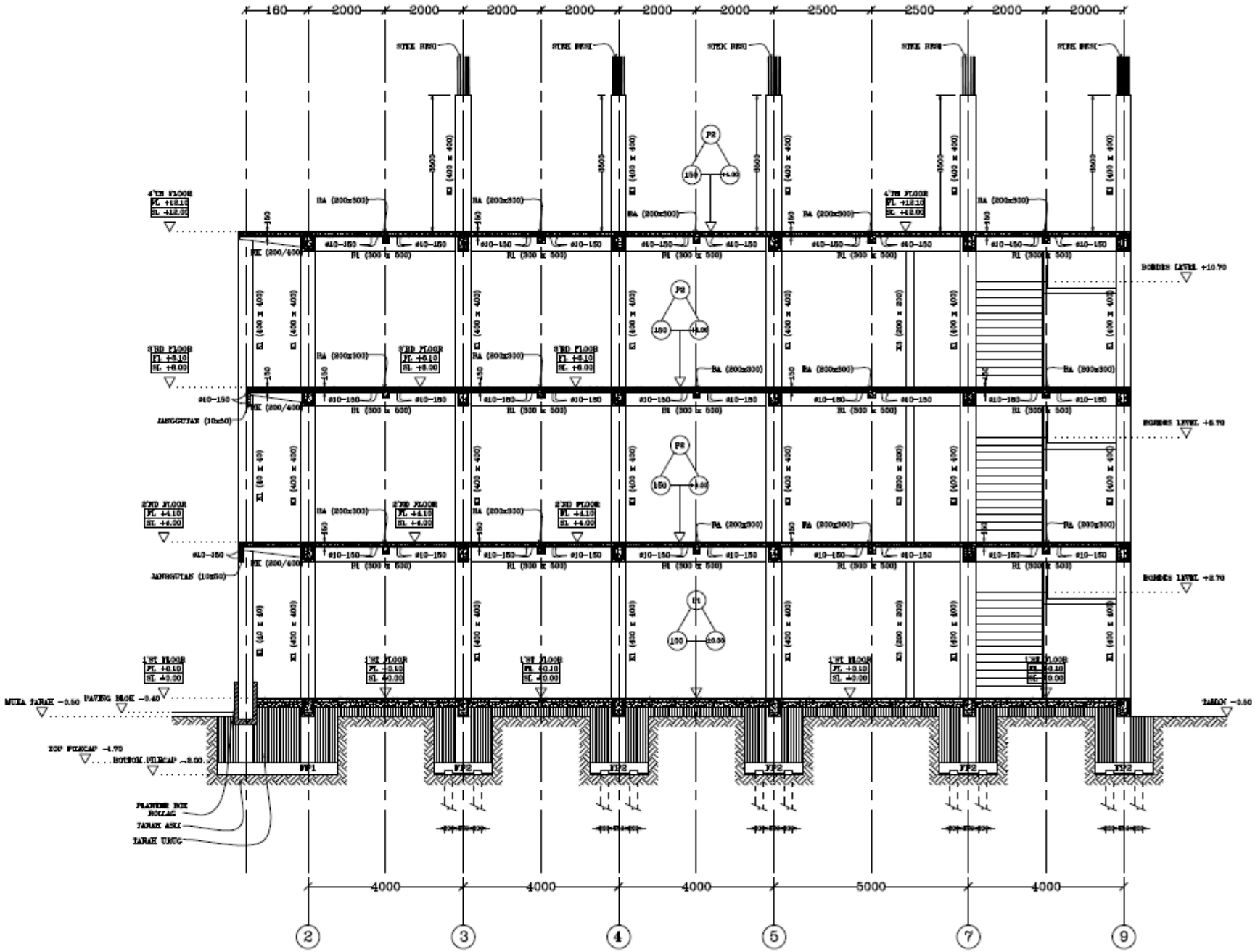
ARCHITECT & PLANNER

LISA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-POT-01
SHEET NUMBER	21
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



POTONGAN A–A STRUKTURAL

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
POT STRUKTURAL A-A	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT. TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

ARCHITECT & PLANNER

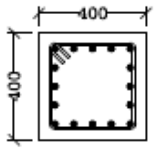
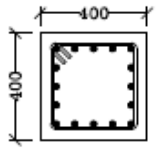
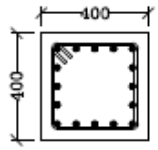
USA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-POT-06
SHEET NUMBER	26
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021

K1.(KOLOM 400 x 400 mm)

TUMPUAN	TUMPUAN	TUMPUAN
		
TULANGAN POKOK : 16–D19	TULANGAN POKOK : 16–D19	TULANGAN POKOK : 16–D19
SENGKANG : ø10–150	SENGKANG : ø10–200	SENGKANG : ø10–150

SPESIFIKASI STRUKTUR KOLOM K1

BETON : BETON K 300 / fc 24.90 mpa
SELIMUT BETON : 40 mm
TEBAL BETON : –
MATERIAL : BETON MORTAR
FINISH : CURING 1 x 24 Jam

K2.(KOLOM 200 x 200 mm)

TUMPUAN	TUMPUAN	TUMPUAN
		
TULANGAN POKOK : 8–D13	TULANGAN POKOK : 8–D13	TULANGAN POKOK : 8–D13
SENGKANG : ø8–150	SENGKANG : ø8–150	SENGKANG : ø8–150

SPESIFIKASI STRUKTUR KOLOM K2

BETON : BETON K 300 / fc 24.90 mpa
SELIMUT BETON : 40 mm
TEBAL BETON : –
MATERIAL : BETON MORTAR
FINISH : CURING 1 x 24 Jam

KP.(KOLOM PRAKTIS 150 x 150 mm)

TUMPUAN	TUMPUAN	TUMPUAN
		
TULANGAN POKOK : 8–D13	TULANGAN POKOK : 8–D13	TULANGAN POKOK : 8–D13
SENGKANG : ø8–150	SENGKANG : ø8–150	SENGKANG : ø8–150

SPESIFIKASI STRUKTUR KOLOM K2

BETON : BETON K 300 / fc 24.90 mpa
SELIMUT BETON : 40 mm
TEBAL BETON : –
MATERIAL : BETON MORTAR
FINISH : CURING 1 x 24 Jam

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DETAIL KOLOM	1 : 20

BUILDING CONTRACTOR

PT TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

ARCHITECT & PLANNER

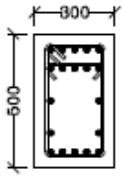
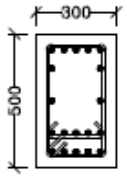
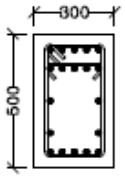
LISA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DET-01
SHEET NUMBER	55
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021

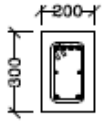
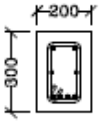
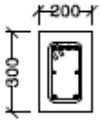
B1.(BALOK 300 x 500 mm)

TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
		
TULANGAN POKOK : ATAS : 10–D19 BAGI : 2–D19 BAWAH : 7–D19	TULANGAN POKOK : ATAS : 7–D19 BAGI : 2–D19 BAWAH : 10–D19	TULANGAN POKOK : ATAS : 10–D19 BAGI : 2–D19 BAWAH : 7–D19
SENGKANG : ø10–100	SENGKANG : ø10–150	SENGKANG : ø10–100
KAIT : ø10–150	KAIT : ø10–150	KAIT : ø10–150

SPESIFIKASI STRUKTUR BALOK INDUK B1

BETON : BETON K 300 / fc 24.90 mpa
SELIMUT BETON : 40 mm
TEBAL BETON : –
MATERIAL : BETON MORTAR
FINISH : CURING 1 x 24 Jam

B2.(BALOK 200 x 300 mm)

TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
		
TULANGAN POKOK : ATAS : 4–D16 BAGI : 2–ø10 BAWAH : 2–D16	TULANGAN POKOK : ATAS : 2–D16 BAGI : 2–ø10 BAWAH : 4–D16	TULANGAN POKOK : ATAS : 4–D16 BAGI : 2–ø10 BAWAH : 2–D16
SENGKANG : ø10–100	SENGKANG : ø10–150	SENGKANG : ø10–100
KAIT : –	KAIT : –	KAIT : –

SPESIFIKASI STRUKTUR BALOK ANAK B2

BETON : BETON K 300 / fc 24.90 mpa
SELIMUT BETON : 40 mm
TEBAL BETON : –
MATERIAL : BETON MORTAR
FINISH : CURING 1 x 24 Jam

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DETAIL BALOK	1 : 20

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

ARCHITECT & PLANNER

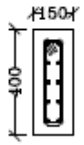
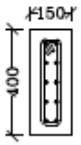
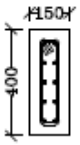
USA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DET-02
SHEET NUMBER	56
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021

B3.(BALOK 150 x 400 mm)

TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
		
TULANGAN POKOK : ATAS : 2–ø10 BAGI : 6–ø10 BAWAH : 2–ø10	TULANGAN POKOK : ATAS : 2–ø10 BAGI : 6–ø10 BAWAH : 2–ø10	TULANGAN POKOK : ATAS : 2–ø10 BAGI : 6–ø10 BAWAH : 2–ø10
SENGKANG : ø10–150	SENGKANG : ø10–200	SENGKANG : ø10–150
KAIT : –	KAIT : –	KAIT : –

SPESIFIKASI STRUKTUR BALOK ANAK B3

BETON : BETON K 300 / fc 24.90 mpa
SELIMUT BETON : 40 mm
TEBAL BETON : –
MATERIAL : BETON MORTAR
FINISH : CURING 1 x 24 Jam

B4.(BALOK 150 x 200 mm)

TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
		
TULANGAN POKOK : ATAS : 2–ø10 BAGI : – BAWAH : 2–ø10	TULANGAN POKOK : ATAS : 2–ø10 BAGI : – BAWAH : 2–ø10	TULANGAN POKOK : ATAS : 2–ø10 BAGI : – BAWAH : 2–ø10
SENGKANG : ø10–150	SENGKANG : ø10–200	SENGKANG : ø10–150
KAIT : –	KAIT : –	KAIT : –

SPESIFIKASI STRUKTUR BALOK B4

BETON : BETON K 200 / fc 16.6 mpa
SELIMUT BETON : 40 mm
TEBAL BETON : –
MATERIAL : BETON MORTAR
FINISH : CURING 1 x 24 Jam

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DETAIL BALOK	1 : 20

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

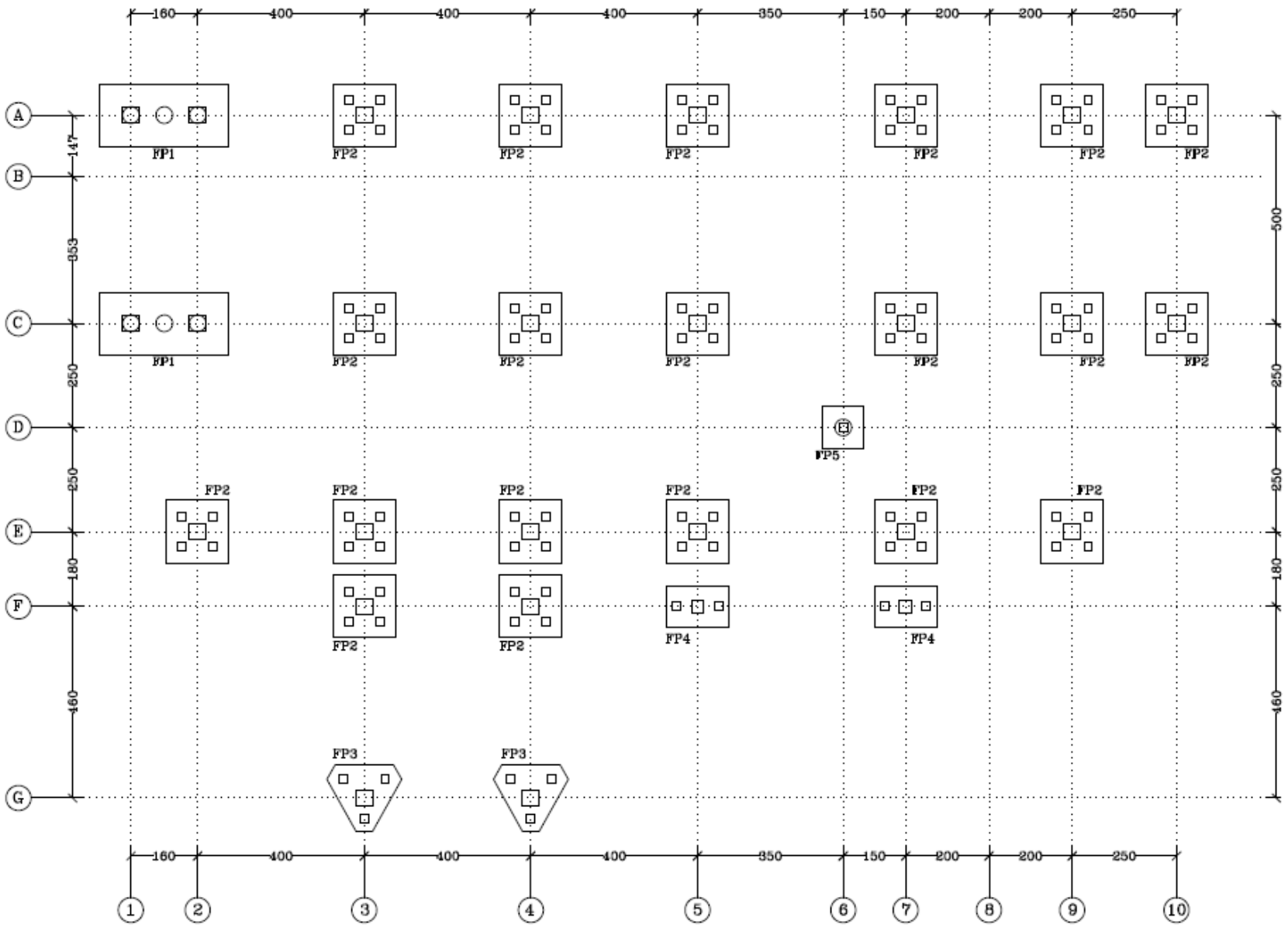
ARCHITECT & PLANNER

USA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DET-02
SHEET NUMBER	57
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



RENCANA PONDASI

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP

RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH PILECAP	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

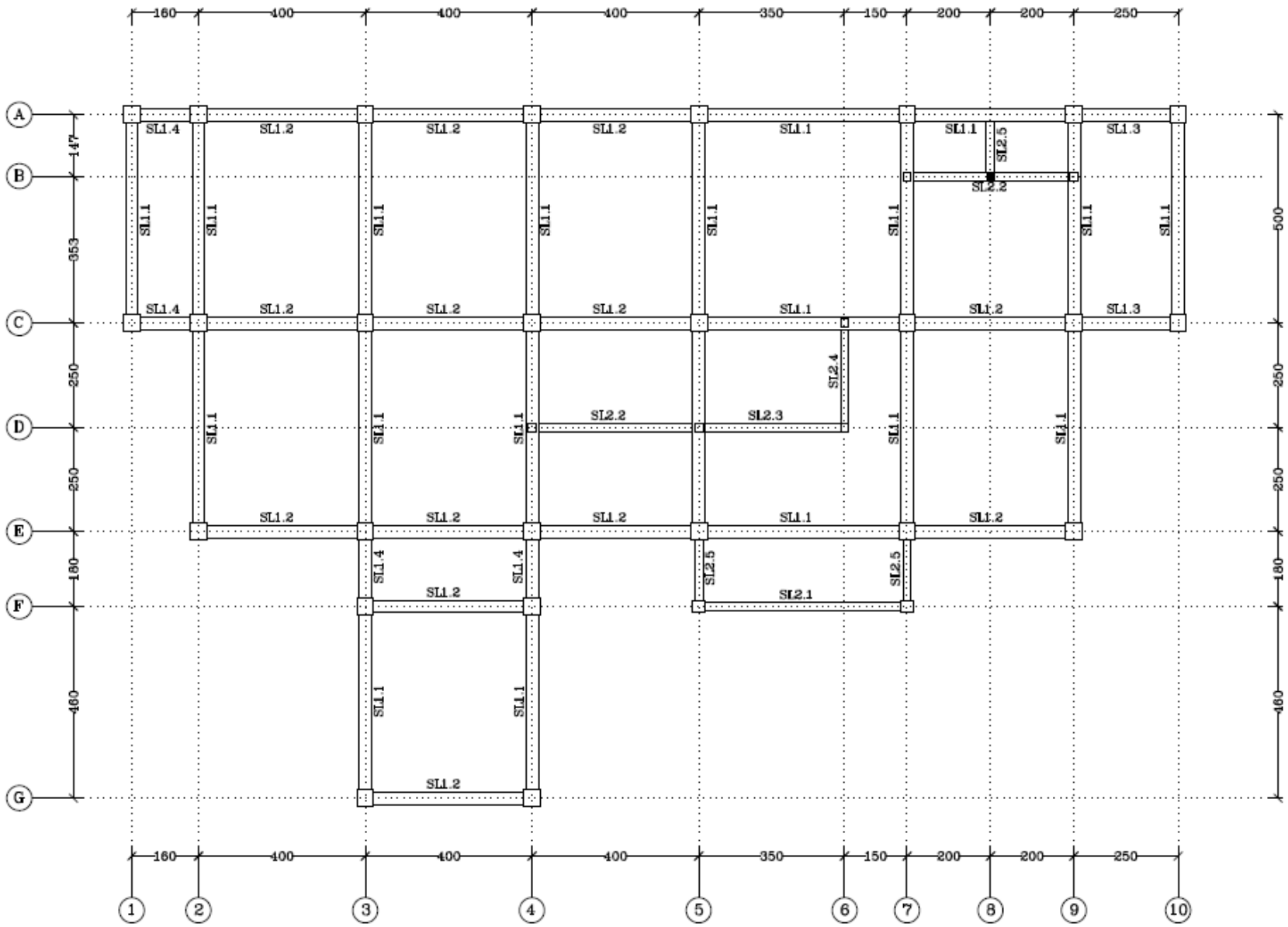
ARCHITECT & PLANNER

LISA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-01
SHEET NUMBER	02
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



- SLOOF LANTAI TYPE 1 (SL1.LANTAI DASAR (30 x 50)
- SLOOF LANTAI TYPE 2 (SL2.LANTAI DASAR (20 x 30)

RENCANA SLOOF

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH SLOOF	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

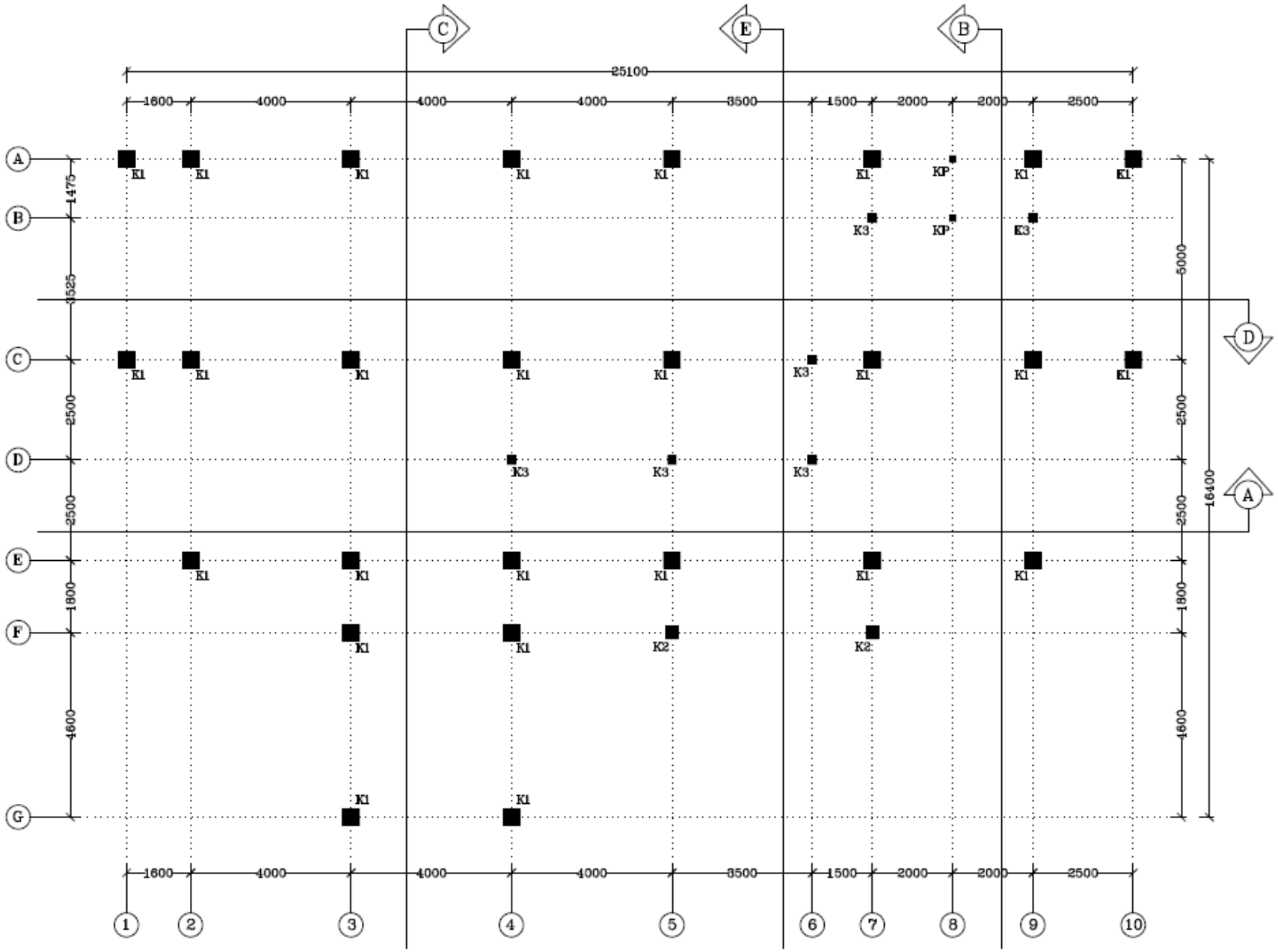
ARCHITECT & PLANNER

LISA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-02
SHEET NUMBER	03
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



RENCANA KOLOM

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP

RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH KOLOM	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

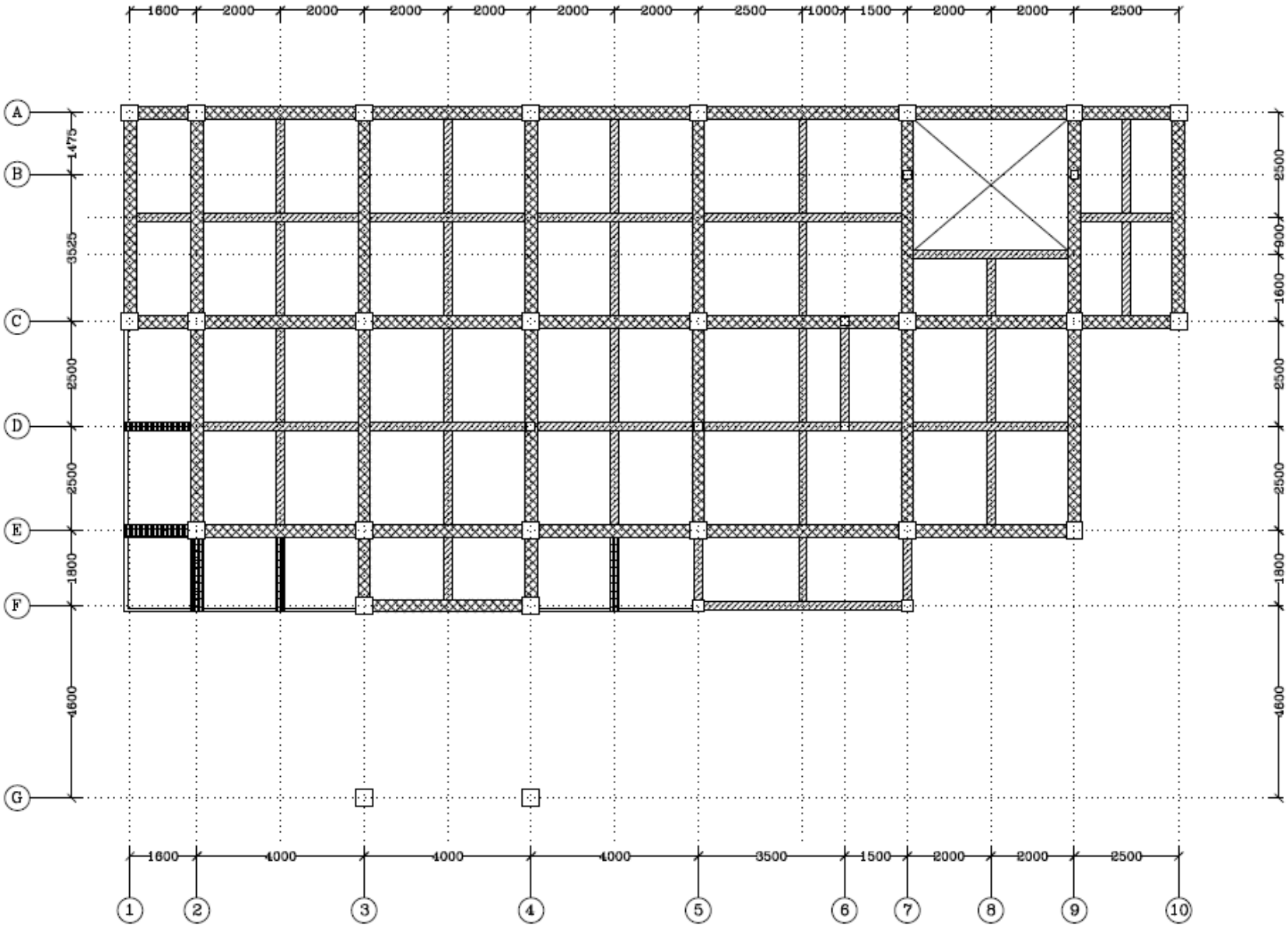
ARCHITECT & PLANNER

LISA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-03
SHEET NUMBER	04
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



- BALOK INDUK (B1.LANTAI 1 (30 x 50)
- BALOK ANAK (BA.LANTAI 1 (20 x 30)
- BALOK KANTILEVER (BK.LANTAI 1 (20 / 40)

RENCANA BALOK LANTAI 2

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH BALOK LT 2	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

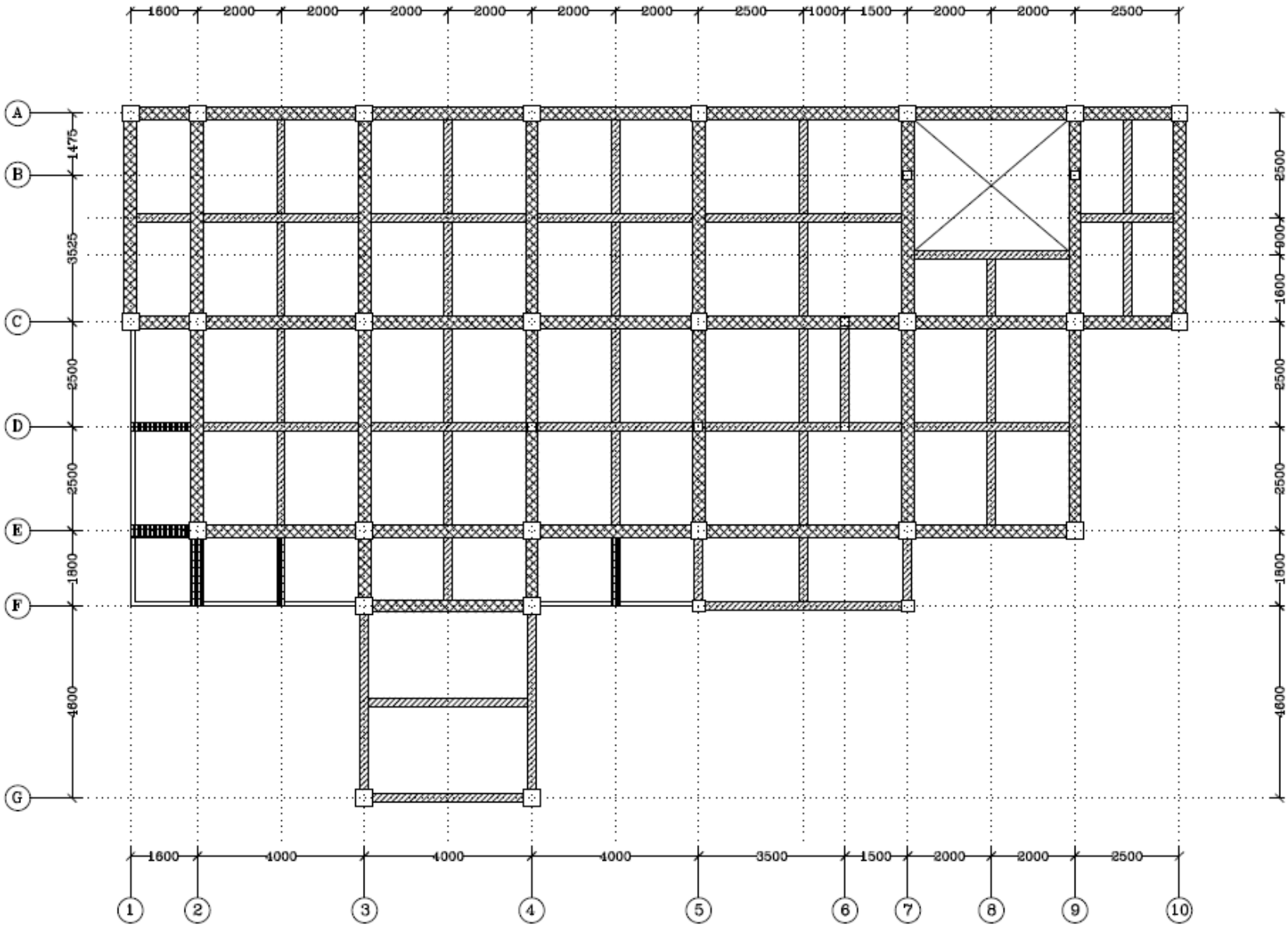
ARCHITECT & PLANNER

LISA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-04
SHEET NUMBER	05
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



BALOK INDUK (B1.LANTAI 1 (30 x 50)

BALOK ANAK (BA.LANTAI 1 (20 x 30)

BALOK KANTILEVER (BK.LANTAI 1 (20 / 40)

RENCANA BALOK LANTAI 3

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP

RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH BALOK LT 3	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

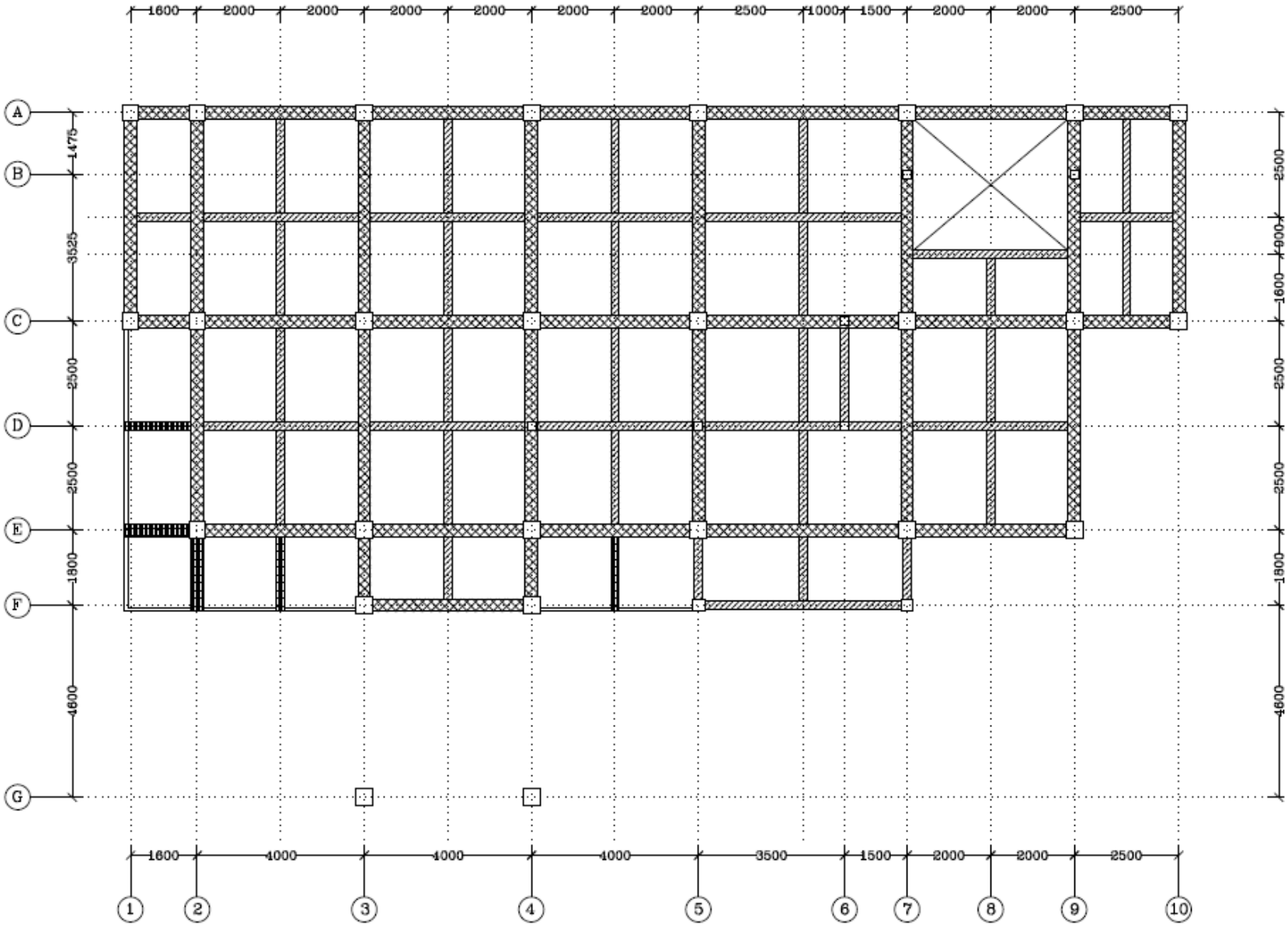
ARCHITECT & PLANNER

LSA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-05
SHEET NUMBER	06
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



- BALOK INDUK (B1.LANTAI 1 (30 x 50)
- BALOK ANAK (BA.LANTAI 1 (20 x 30)
- BALOK KANTILEVER (BK.LANTAI 1 (20 / 40)

RENCANA BALOK LANTAI 4

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH BALOK LT 4	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

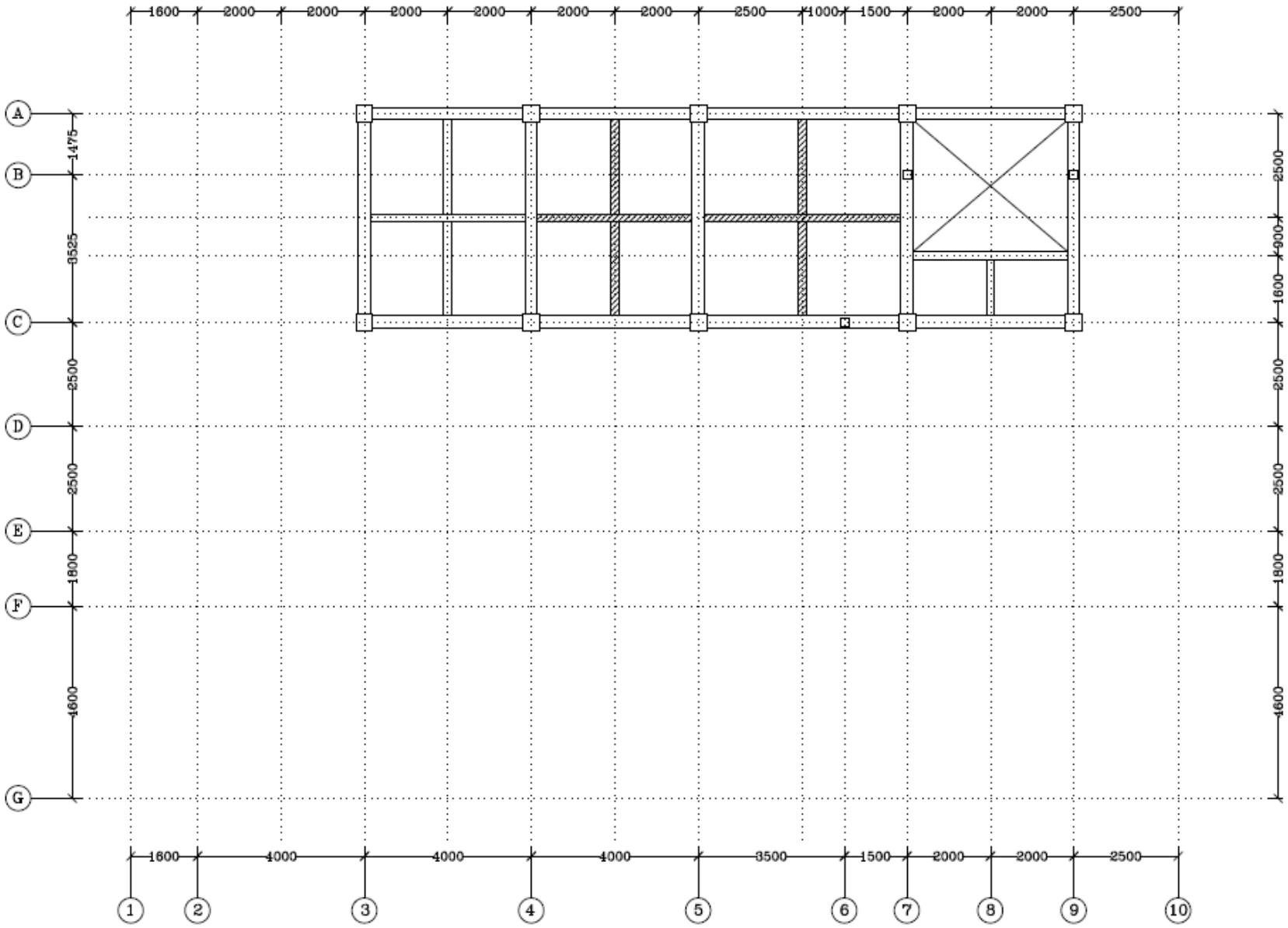
ARCHITECT & PLANNER

LISA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-06
SHEET NUMBER	07
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



BALOK INDUK (BI.LANTAI 1 (30 x 50)

BALOK ANAK (BA.LANTAI 1 (20 x 30)

RENCANA BALOK ATAP

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH BALOK LT ATAP	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

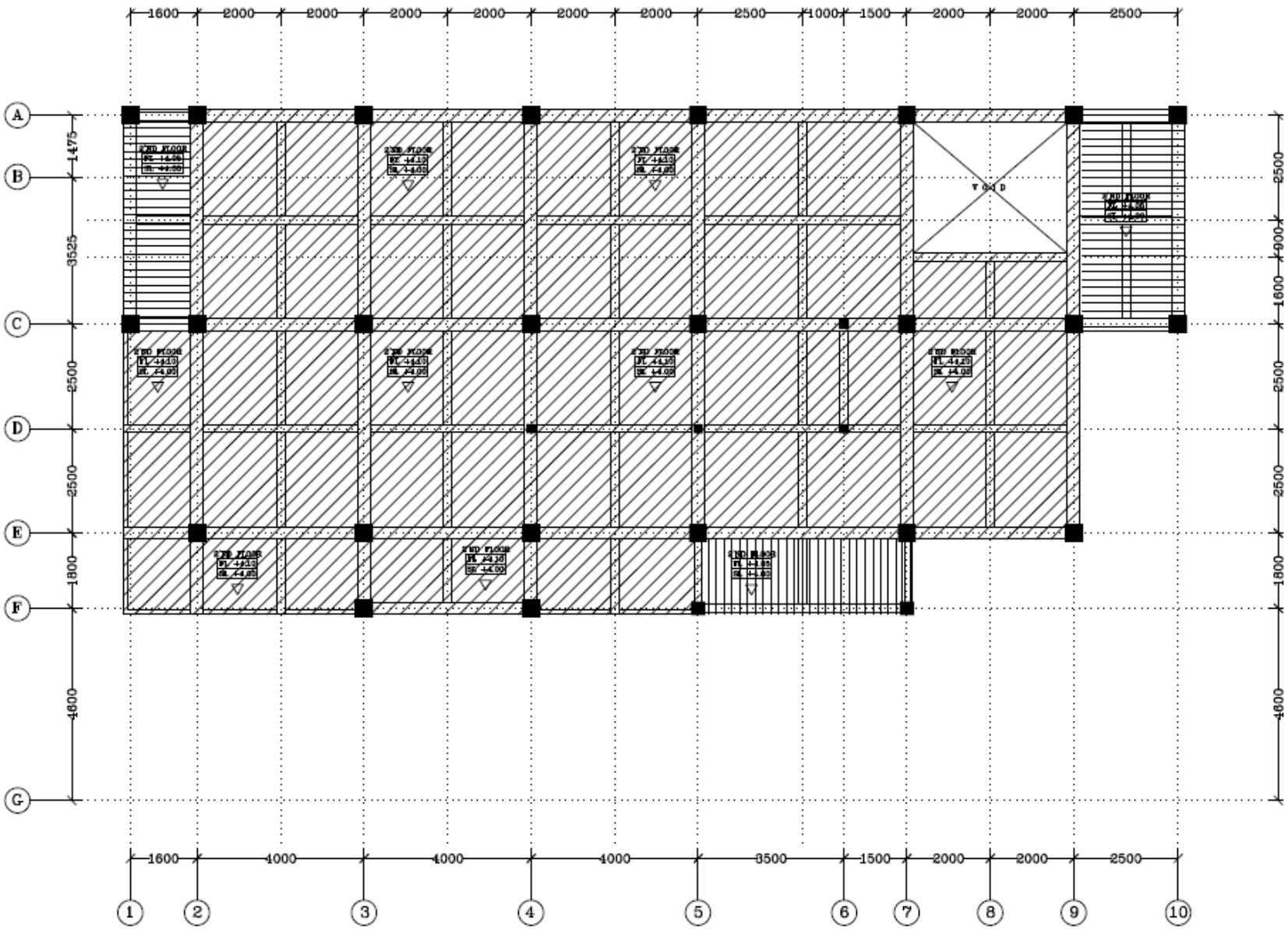
ARCHITECT & PLANNER

ISA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-07
SHEET NUMBER	08
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



RENCANA PLAT LANTAI 2

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP

RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH PLAT LANTAI 2	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

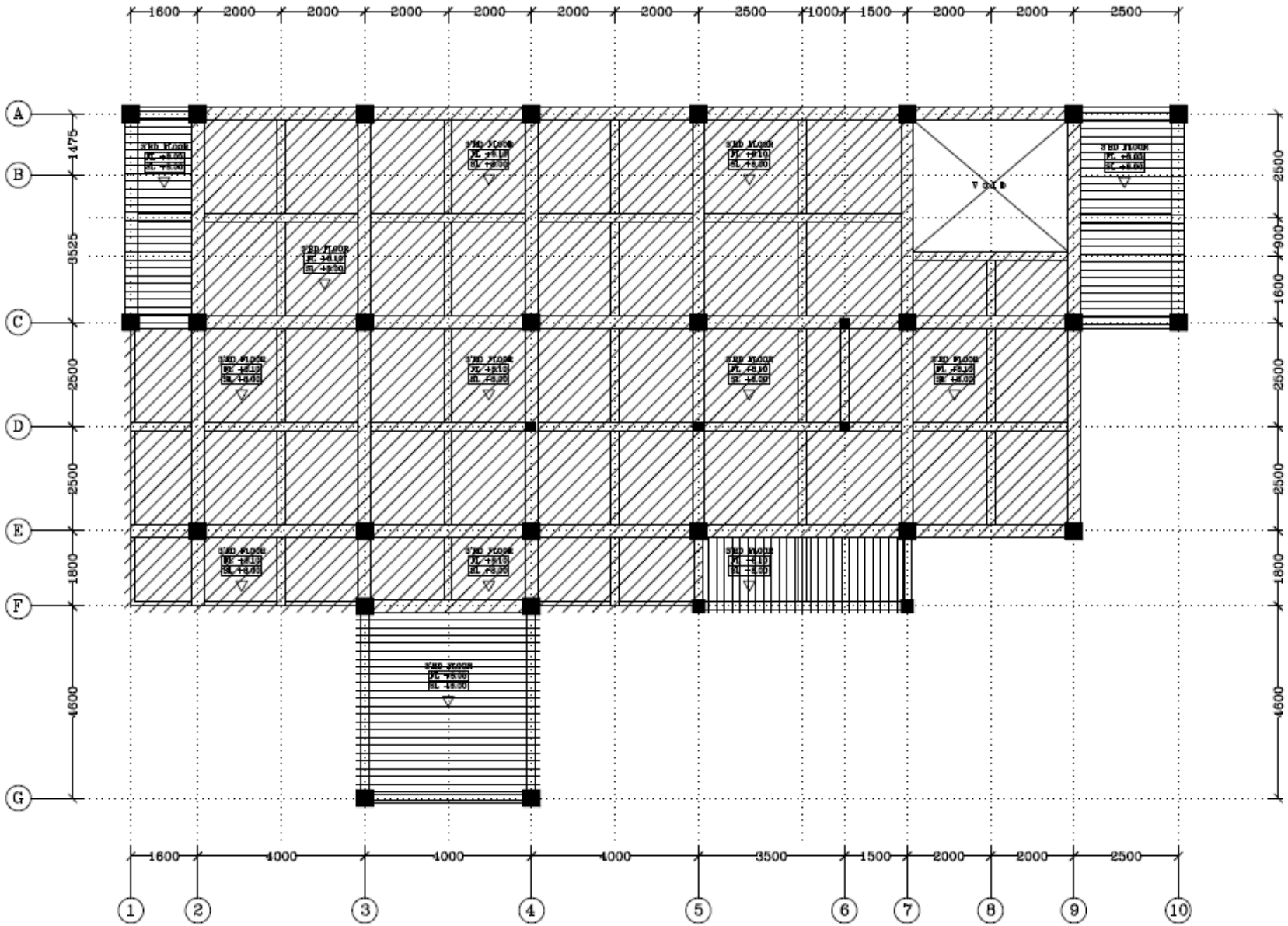
ARCHITECT & PLANNER

USA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-08
SHEET NUMBER	09
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



RENCANA PLAT LANTAI 3

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP

RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH PLAT LANTAI 3	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

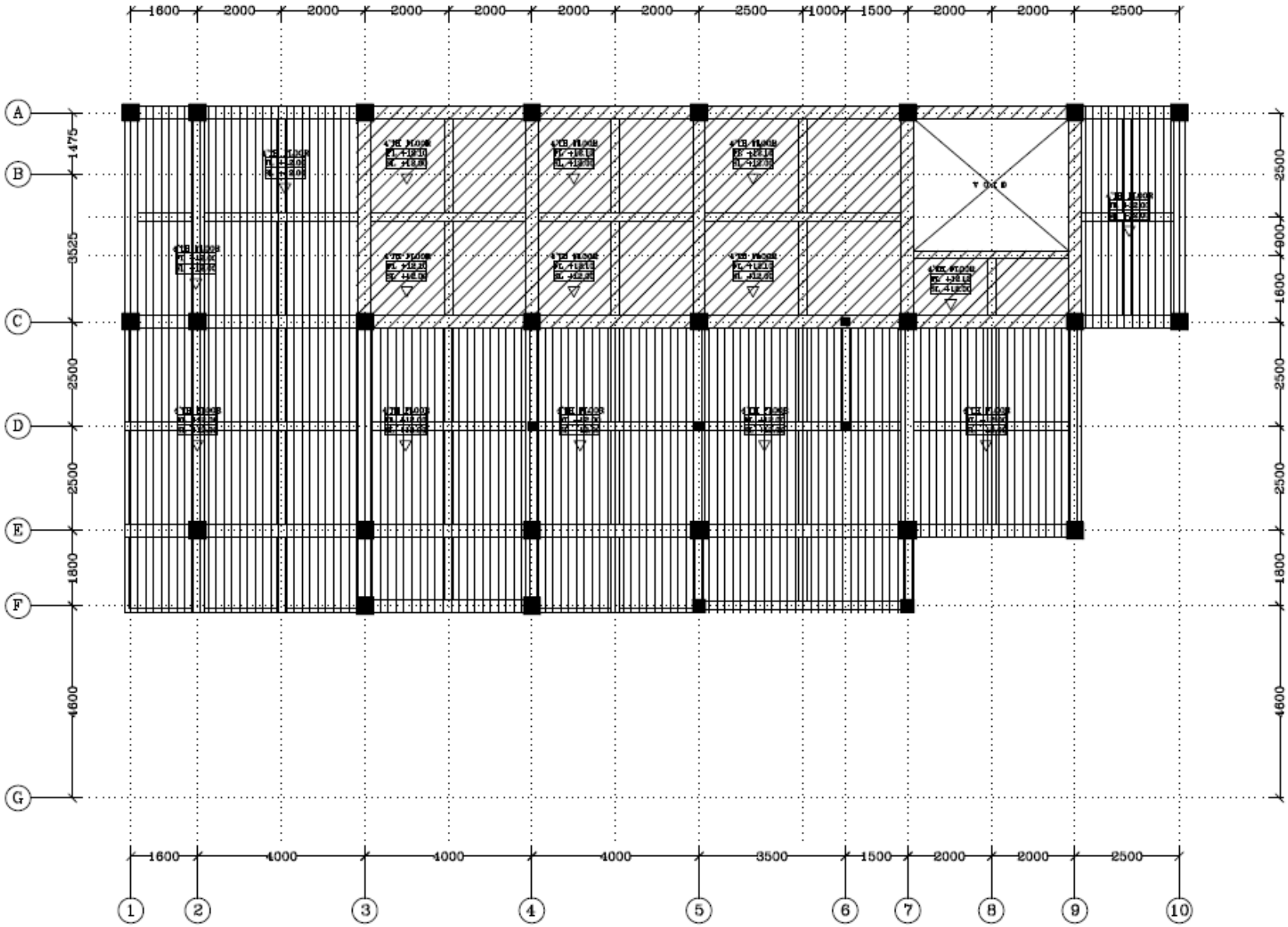
ARCHITECT & PLANNER

USA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-09
SHEET NUMBER	10
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



RENCANA PLAT LANTAI 4

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP

RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH PLAT LANTAI 4	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

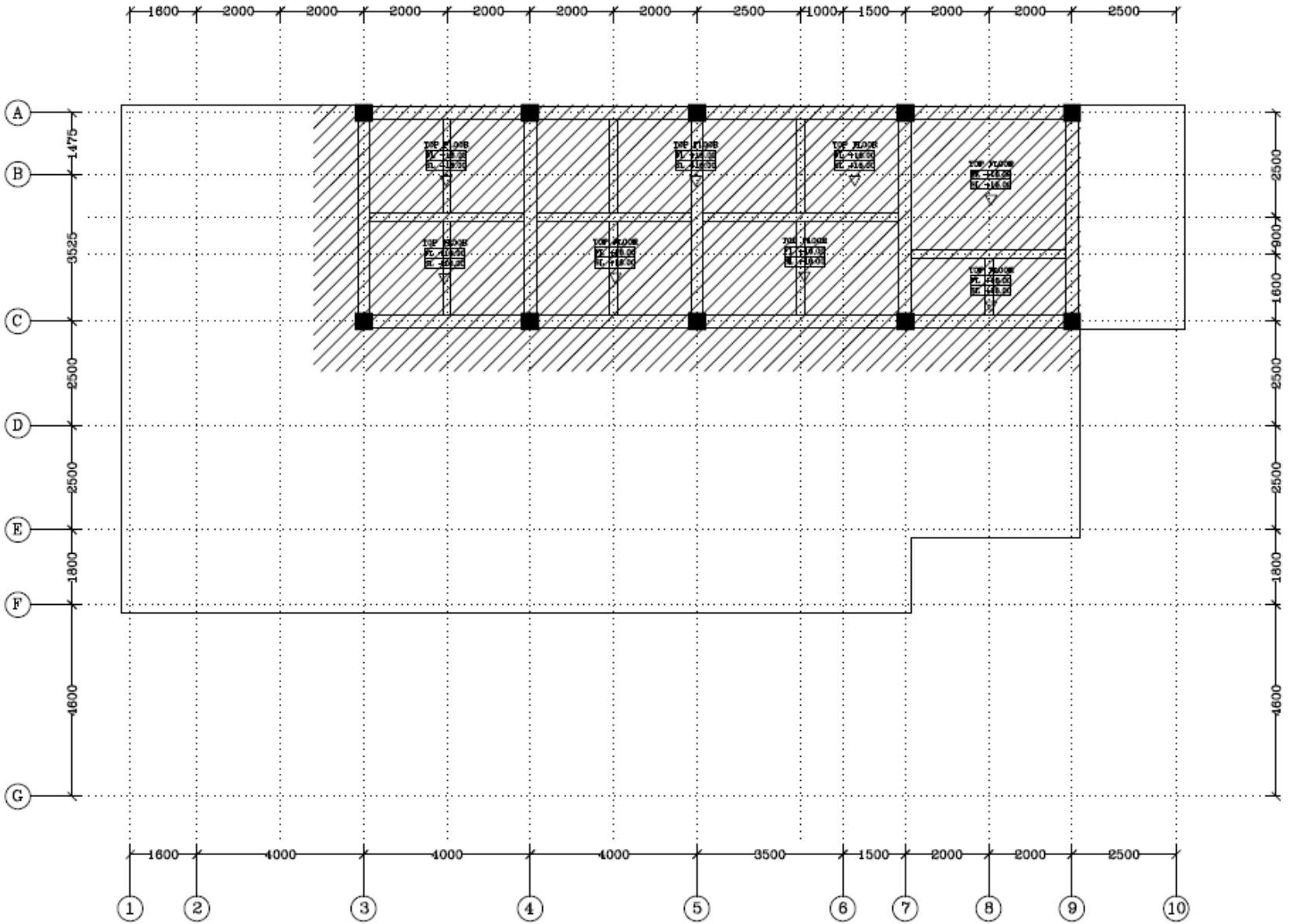
ARCHITECT & PLANNER

USA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-10
SHEET NUMBER	11
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021



RENCANA PLAT ATAP

SKALA 1:100

NOTES

MAIN DESIGN

PROJECT

PEMBANGUNAN GEDUNG *JOIN OFFICE (JO)*
TEGAR UTAMA GROUP
&
RBI LAW FIRM INDONESIA

SITE LOCATION

KOTA BALIKPAPAN
KALIMANTAN TIMUR
INDONESIA

PROJECT OWNER

TEGAR UTAMA GROUP
RBI LAW FIRM INDONESIA

DRAWING TITLE	SCALE
DENAH PLAT LANTAI 5	1 : 100

BUILDING CONTRACTOR

PT.TEGAR UTAMA KONSTRUKSI

ARCHITECT & PLANNER

LISA ARSITA
Architectural Firm

CONSULTANT OF SUPERVISOR

PT.BARADI CONSULTANT
Structural Planner & Engineering Consultant

DRAWING CODE	STR-DN-11
SHEET NUMBER	12
SHEET TOTAL	
DATE/MONTH/YEAR	03 / 09 / 2021